

Edgardo Verzi

NACIMIENTO DE UNA GRAN OBRA

Complejo Hidroeléctrico de Salto Grande

La participación del ingeniero Eladio Dieste en esta obra tuvo dos aspectos a señalar: en primer lugar, fue el consultor con responsabilidades profesionales y contractuales.
Por otra parte, y en lo que a mí respecta, Dieste fue –además del docente que me había formado– quien me distinguió invitándome a integrar el equipo de trabajo.

Fotografías: Edgardo Verzi
Foto de portada: Planta hormigonera activa durante la noche
Diseño: Lucía Venturini
Corrección de texto: Edda Fabbri

ISBN: 978-9974-94-437-4
Primera edición, 2019
Impreso en Montevideo, Uruguay

www.edgardoverzi.com

Impreso en Gráfica Mosca - Depósito legal: 375.912

NACIMIENTO DE UNA GRAN OBRA

Complejo Hidroeléctrico de Salto Grande



Edgardo Verzi

Agradecimientos

A la Directiva de la Asociación de Ingenieros del Uruguay (AIU) y en particular a su presidente, el ingeniero Miguel Fierro, por contribuir en forma entusiasta a la edición de este libro. Desde la presentación de la idea y durante el proceso de diseño y análisis del contenido, conté siempre con su apreciado apoyo y su colaboración. Al ingeniero Martín Dulcini, secretario de la AIU, por sus precisas y acertadas sugerencias sobre el texto.

Al ingeniero Gonzalo Larrambebere por sus valiosos aportes en la primera lectura del texto.

A Lucía Venturini, por el excelente diseño de este libro y su esmerada dedicación e ingenio para coordinar los diversos aspectos de su contenido.

A Edda Fabbri por su cuidadosa y eficaz optimización del texto.

A Pablo Bonomi Errazquin, por su impecable tarea de digitalizar las imágenes a partir de negativos y diapositivas que se conservaban en mis archivos, con más de cuarenta años de antigüedad.

Introducción Asociación de Ingenieros del Uruguay (AIU)

Para la Asociación de Ingenieros del Uruguay es un honor participar en este libro en calidad de coeditor. Tenemos que agradecer al ingeniero Edgardo Verzi, socio de nuestra institución, el habernos invitado a ser parte del testimonio de la construcción de una de las más importantes obras de la ingeniería nacional, relatado nada más ni nada menos que por uno de sus protagonistas.

La Central Hidroeléctrica Binacional de Salto Grande era, a la fecha de su comienzo, el primer proyecto de esas características en América Latina. En su construcción trabajaron gran cantidad de ingenieros uruguayos de varias ramas, que aportaron sus conocimientos, su inteligencia y su esfuerzo para que este proyecto tan importante para ambos países llegara a su fin. A 40 años de su puesta en marcha, se está iniciando un proyecto de renovación y modernización de la Central para mantener y extender su vida útil por 40 años más.



Ingeniero Miguel Fierro
Presidente de la AIU



Introducción

A partir de mi participación, entre los años 1974 y 1977, en el proyecto ejecutivo y en la dirección de la obra civil de la primera etapa constructiva de la Represa de Salto Grande, denominada también "primera etapa de desvío del río", me propongo compartir algunos aspectos que considero de interés técnico y de referencia histórica en dicha experiencia profesional.

Los registros fotográficos inéditos obtenidos durante mi presencia en obra y sus relatos conexos, así como ciertos documentos de proyecto e instructivos de obra que orientaron el trabajo, testimonian esta etapa del proceso constructivo a la vez que informan sobre la tecnología disponible en la época.

En la magnitud y la complejidad de un proyecto de esta naturaleza, he llamado "nacimiento" a esta etapa que describo, para designar un momento clave de la obra que tiene la singularidad de comenzar por el dominio del flujo del río, desviando su curso para obtener un recinto estanco donde realizar las excavaciones e iniciar la construcción de la estructura.

Corresponde señalar que para ejecutar una obra de esta naturaleza fueron necesarias diversas etapas de estudio, proyecto y construcción, anteriores y posteriores al proceso aquí descrito, que involucraron a decenas de profesionales, técnicos y operarios de múltiples disciplinas, quienes con su dedicación y conocimiento pudieron concretar la puesta en marcha de este Complejo Hidroeléctrico, cuyos beneficios hoy compartimos ciudadanos argentinos y uruguayos.

Al cumplirse 40 años de la puesta en marcha de la primera turbina generadora de energía, deseo contribuir, con esta publicación, a homenajear aquel momento trascendente.

Edgardo Verzi

I LA OBRA

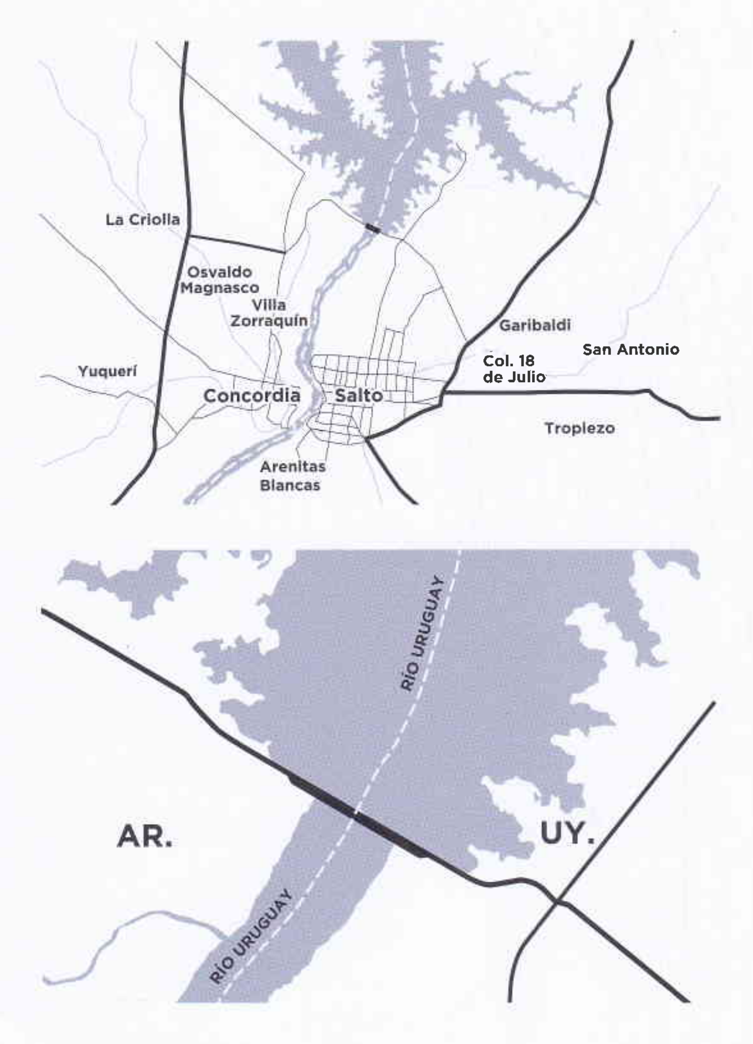
Un panorama general permite ubicar la obra en su entorno. El esquema de obra terminada describe la ubicación y denomina a todos los sectores de la obra civil. Las etapas indican la estrategia necesaria para mantener el flujo del río mientras se construía la obra civil en recintos estancos.

01
La obra civil y sus sectores

Ubicación

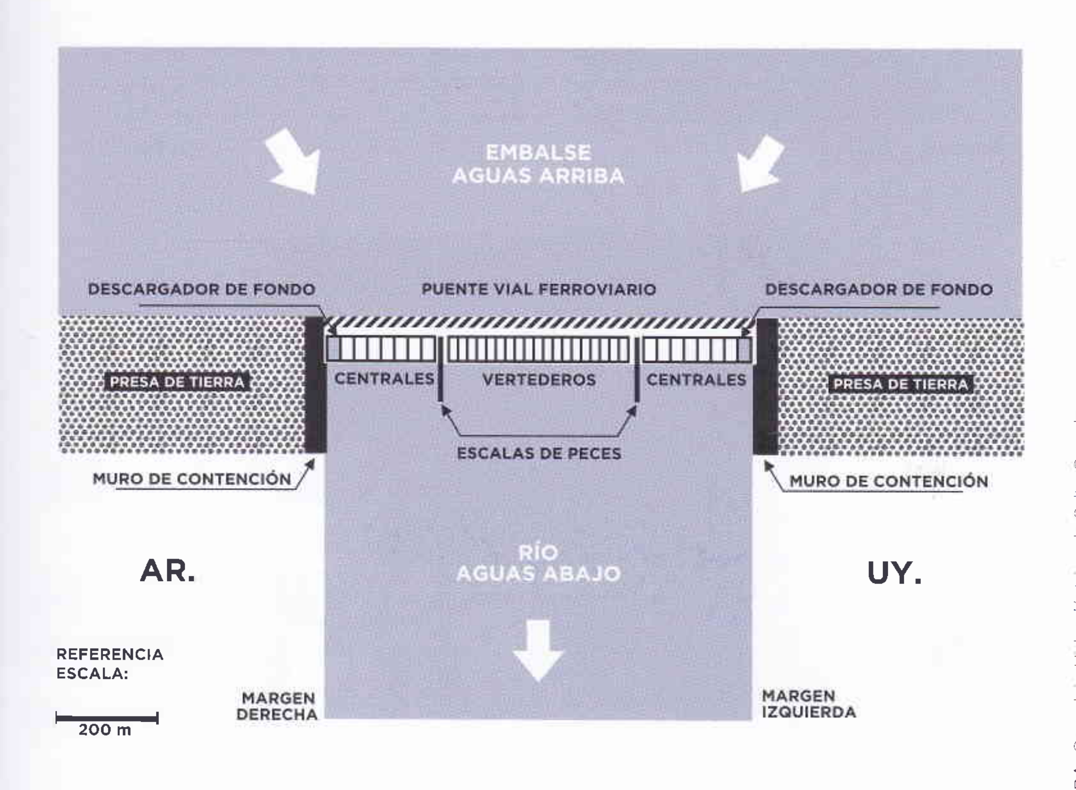
En el primer esquema se aprecia la ubicación del Complejo Hidroeléctrico de Salto Grande, obra binacional entre Argentina (AR) y Uruguay (UY), situada en el río Uruguay, limítrofe entre ambos países, y ubicada a unos 15 kilómetros al norte de dos ciudades, Concordia en Argentina y Salto en Uruguay.

En el segundo esquema se aprecia más detalladamente la disposición de la obra. Mediante la represa se genera el embalse que provoca el desnivel de agua necesario para obtener energía por medio de la rotación de las turbinas.



Sectores

El esquema describe el conjunto de los sectores de la obra civil.



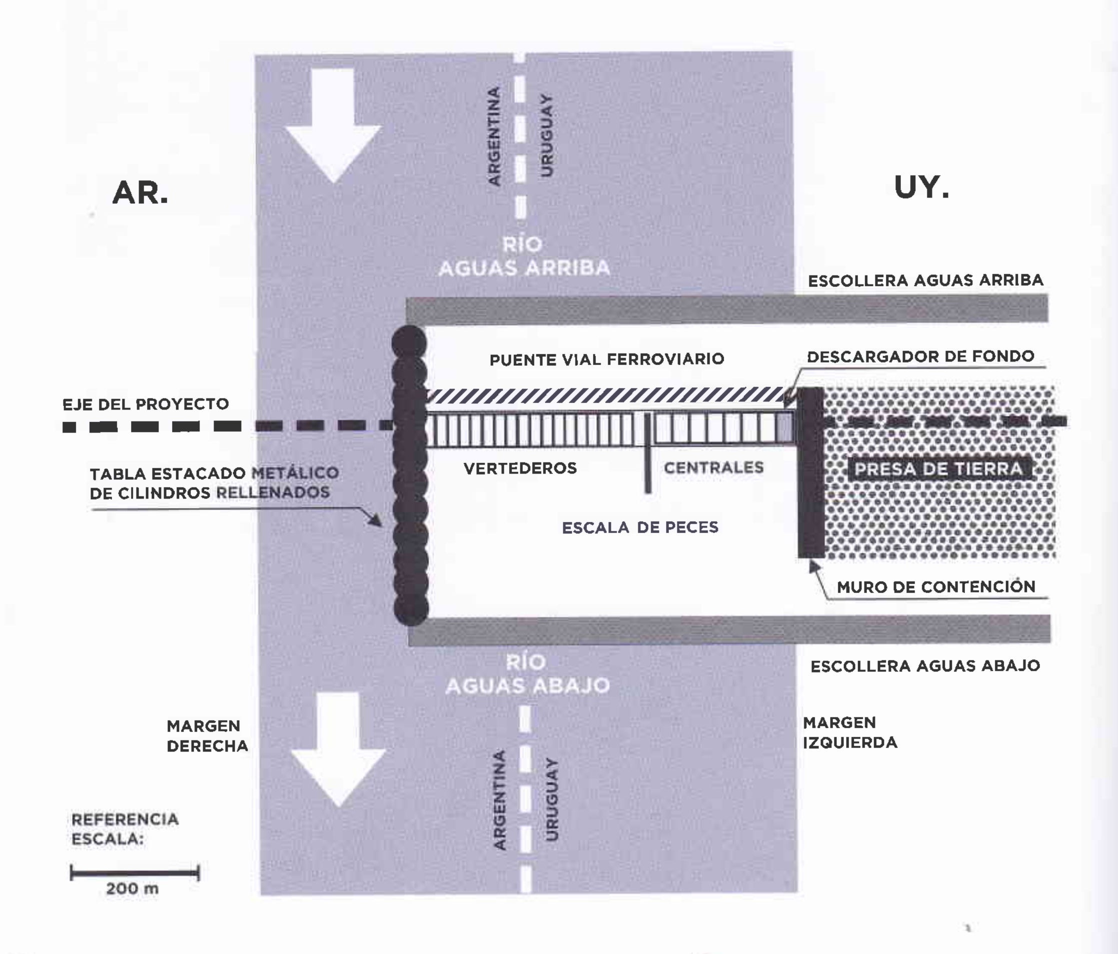
02
El río y las etapas constructivas

Primera etapa de desvío del río

El esquema adjunto describe la primera etapa de desvío del río por medio de una ataguía, lo que permitió construir un recinto estanco en el cual se iniciaron las excavaciones para construir las estructuras de hormigón armado. Esto se hizo en el lado uruguayo (margen izquierda del río), en tanto del lado argentino (margen derecha del río) se dejó un espacio para dejar fluir el río mientras se construían las obras.

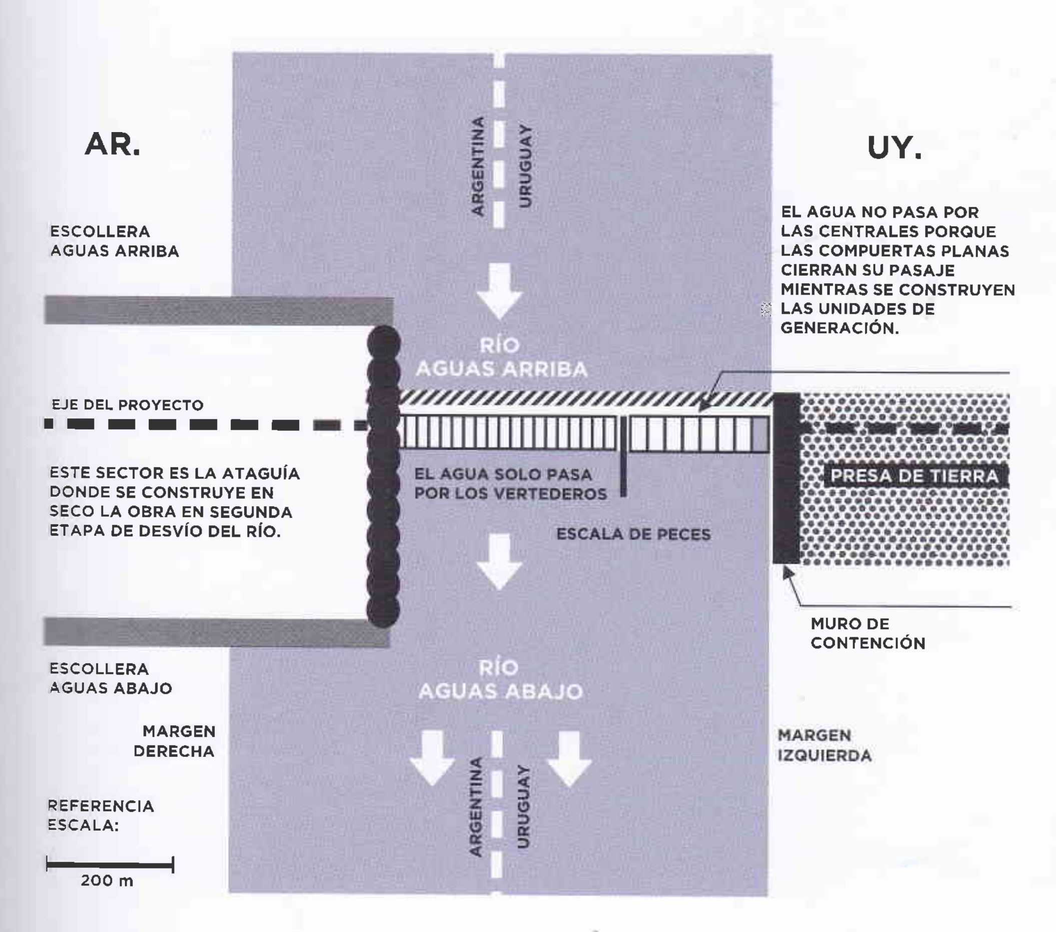
La ataguía está limitada por dos escolleras impermeables y paralelas, perpendiculares al eje del río, una aguas arriba y otra aguas abajo del eje del proyecto.

El cierre del recinto estanco se logró usando cilindros metálicos conformados por tablestacas metálicas rellenadas con material apropiado para evitar el ingreso de agua. El río fluyó en esta etapa entre dicho tablestacado y la margen argentina.



Segunda etapa de desvío del río

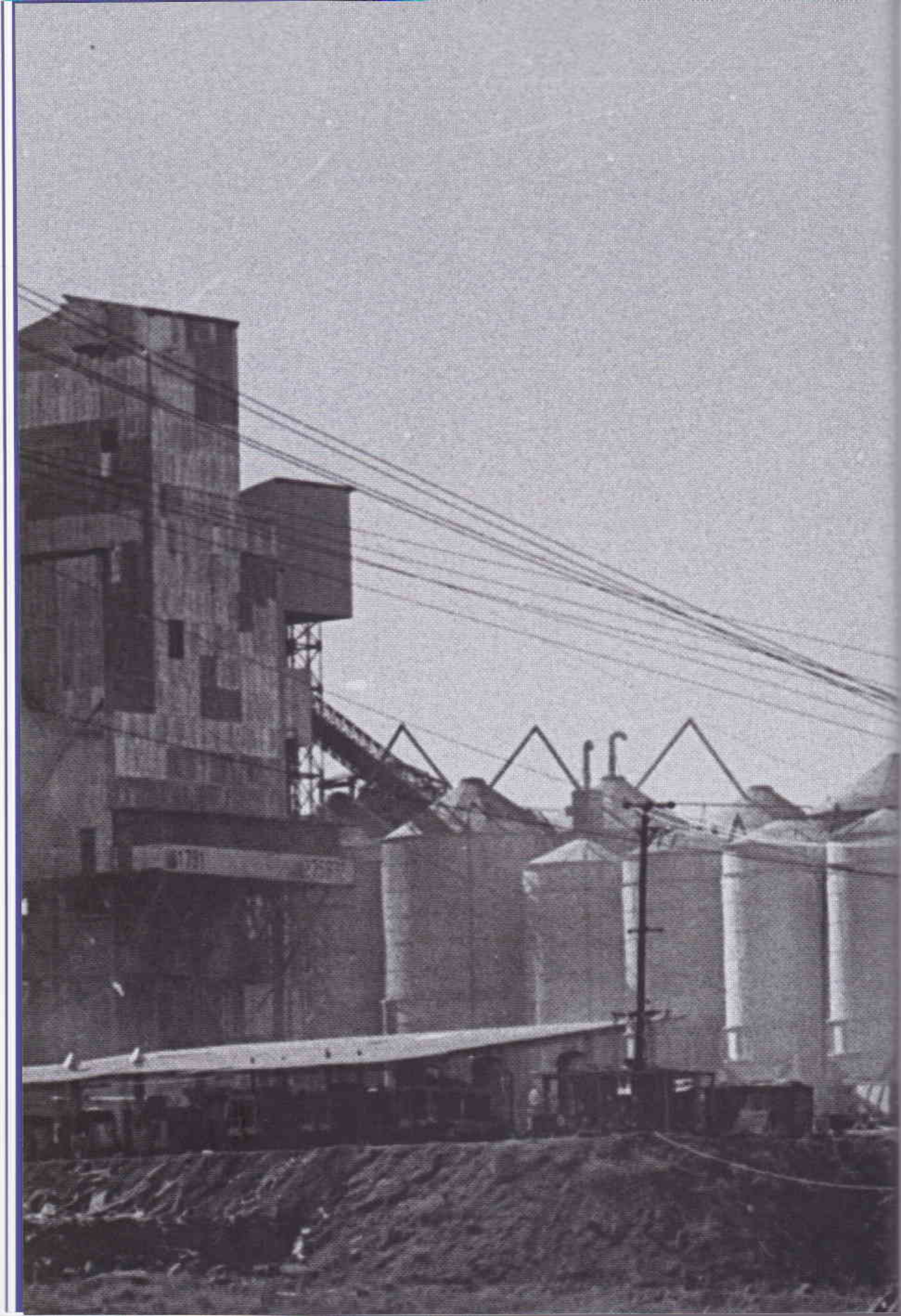
Una vez completada la primera etapa, la totalidad de los vertederos construidos admitían el escurrimiento del río. Desde ese mismo tablestacado, con dos escolleras impermeables hacia el lado argentino, se conformó la segunda ataguía para completar el resto de la obra. Esta etapa se designó: segunda etapa de desvío del río.



II PRIMERA ETAPA DE DESVÍO DEL RÍO

En este capítulo se desarrollan las singularidades de esta obra; a destacar: su escala, los procedimientos constructivos, el equipamiento que se debió utilizar, la organización de la obra y el proceso continuado de su construcción, durante las 24 horas del día todos los días de la semana.

Tanto en el proceso de proyecto, en el cual la experiencia de obras similares señala el sendero a transitar, como en las imprescindibles decisiones a tomar durante la realización de la obra, la opción que se elige depende del sabio equilibrio entre la tecnología disponible en cada momento y la sensatez de la solución adoptada.



03
El obrador y sus instalaciones



El obrador que describiremos es el conjunto de instalaciones ubicadas en la margen izquierda del río, lado uruguayo, que corresponde al período denominado "primera etapa de desvío del río".

Había, simultáneamente, instalaciones en la margen derecha del río, lado argentino, entre las cuales se ilustran, en este libro, las dos torres cilíndricas y sus mástiles metálicos, que junto a sus similares del lado uruguayo, permitían el traslado aéreo de equipos a lo largo del eje del proyecto (ver imágenes en págs 22, 24 y 25).

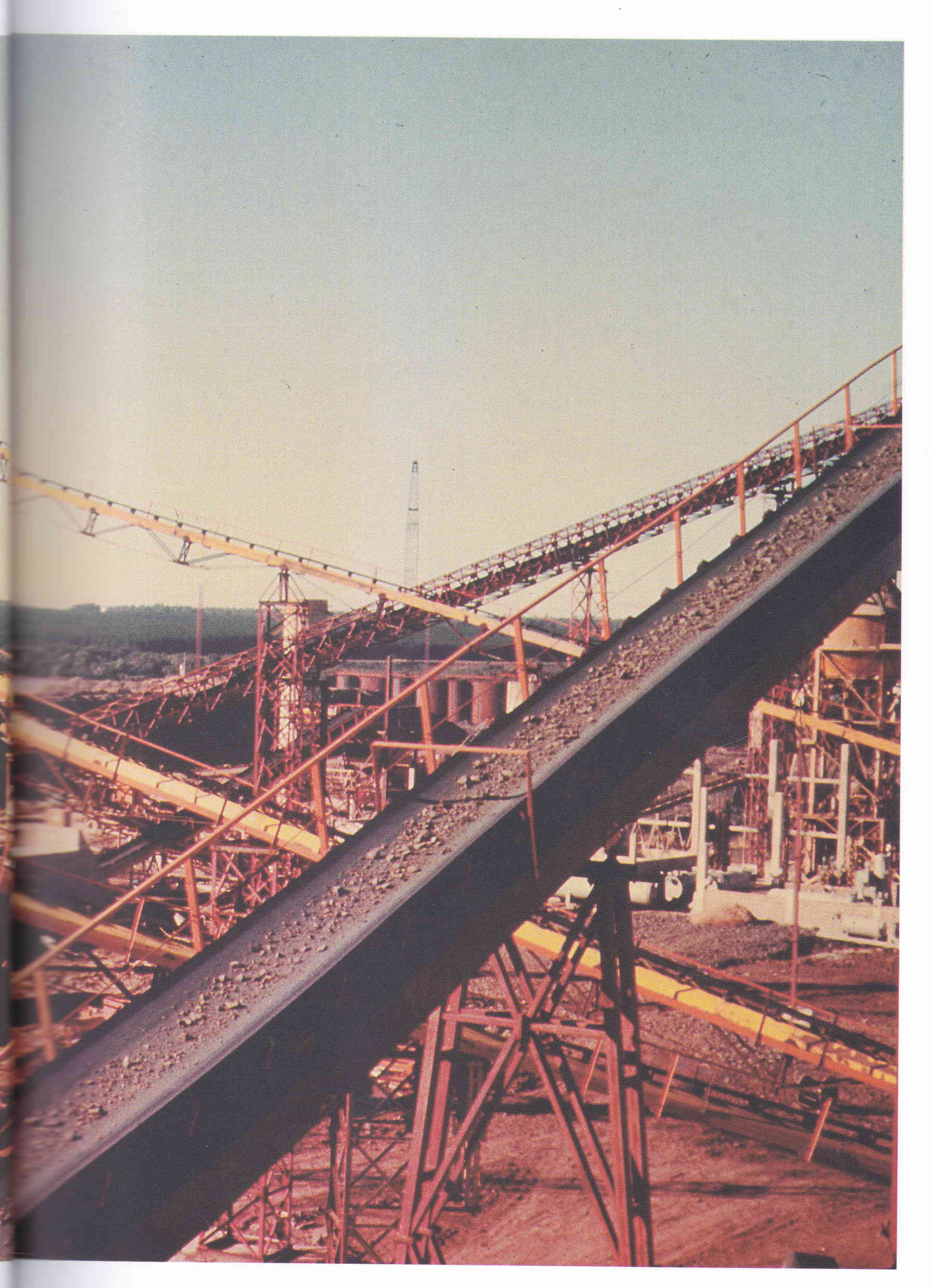
Si nos preguntáramos por las razones por las que se comenzó la obra del lado uruguayo, creo que, entre otras, tuvieron importancia:

a) la cercanía con la fábrica de cemento existente en Paysandú

b) la disponibilidad de préstamos de material basáltico en el subsuelo uruguayo, con propiedades adecuadas para obtener la calidad de hormigones establecida en el proyecto.

En las imágenes adjuntas se aprecian algunas instalaciones básicas para recibir, almacenar, triturar y clasificar el basalto, y los silos para disponer el cemento, en el conjunto denominado Planta de Hormigonado.





04

El transporte entre márgenes del río

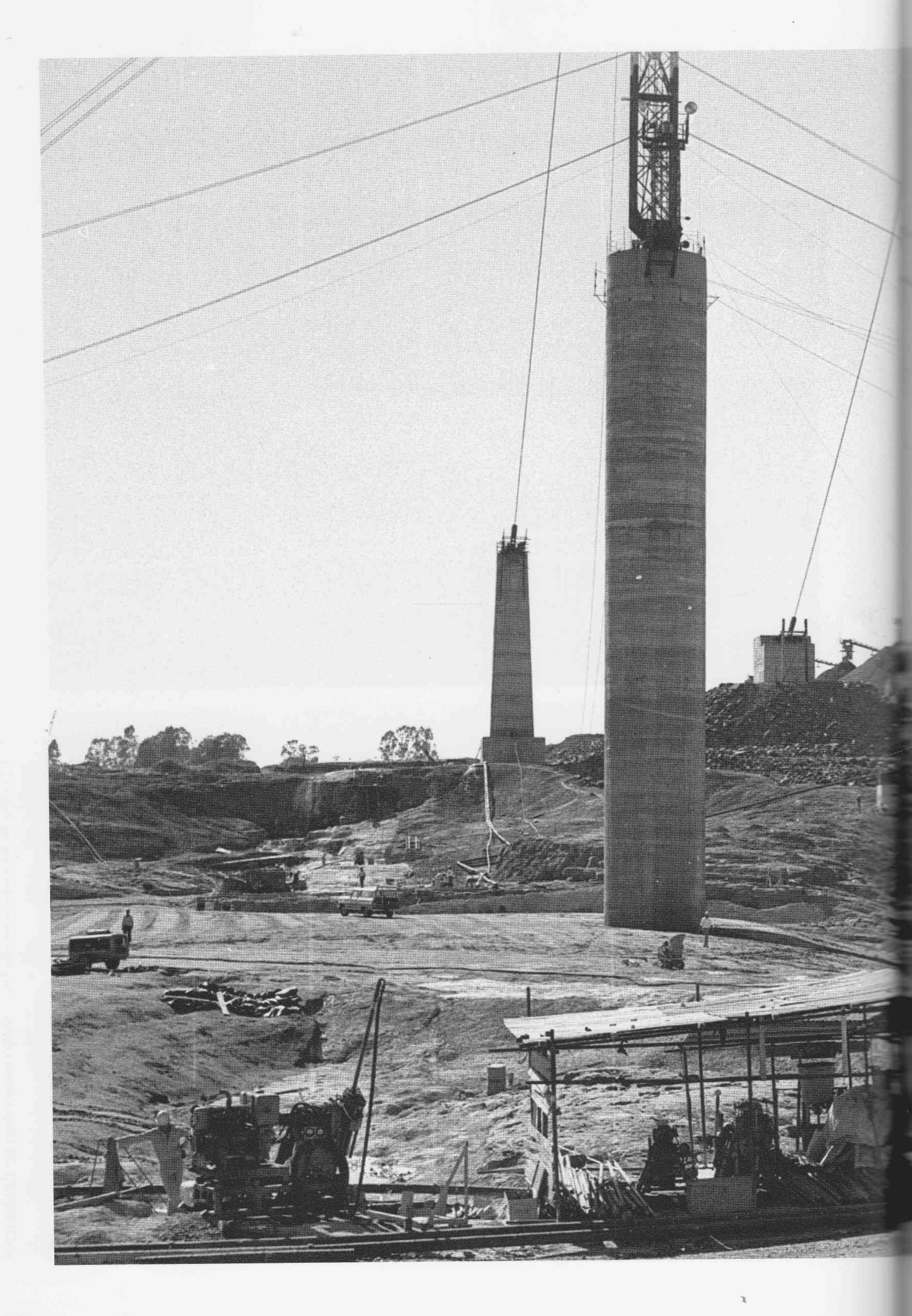
El transporte entre márgenes tenía dos modalidades: el transporte fluvial, mediante balsa, permitía el traslado de vehículos y era también el medio utilizado por el personal residente en Argentina para acceder diariamente a la obra, en esta etapa.

La otra vía era aérea, mediante cables accionados entre las márgenes, desde mástiles apoyados en dos torres cilíndricas de hormigón armado, ambas situadas en el eje de proyecto. Esta modalidad permitía el traslado de equipos mecánicos y su ubicación en el lugar de obra requerido.













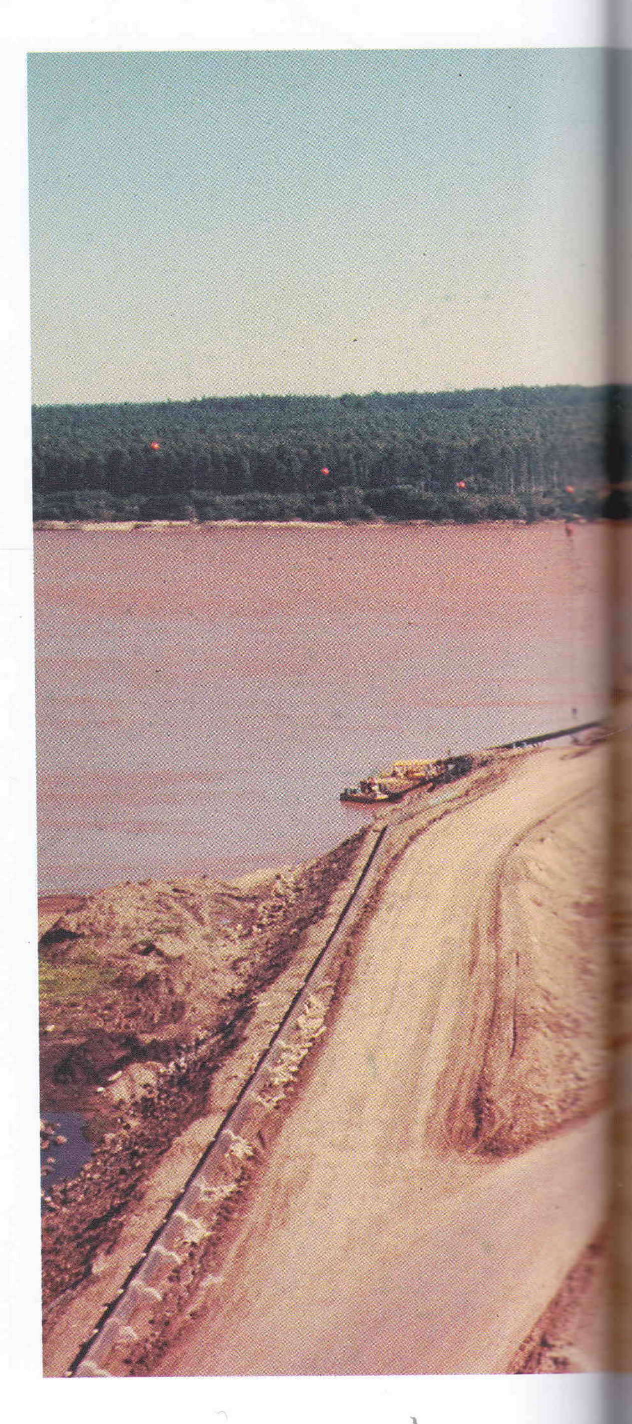


05

Las excavaciones

El fondo rocoso debía ser excavado hasta alcanzar las cotas de proyecto requeridas para recibir las estructuras de los distintos sectores de la obra civil. El lugar que requirió excavaciones más profundas fue el sector de las centrales de generación, donde se debía obtener diferencias de cotas adecuadas al funcionamiento de las turbinas.

Puede apreciarse también el movimiento de tierra y los caminos que debieron construirse a fin de permitir los desplazamientos dentro del obrador.









Detalle de las máquinas perforadoras.

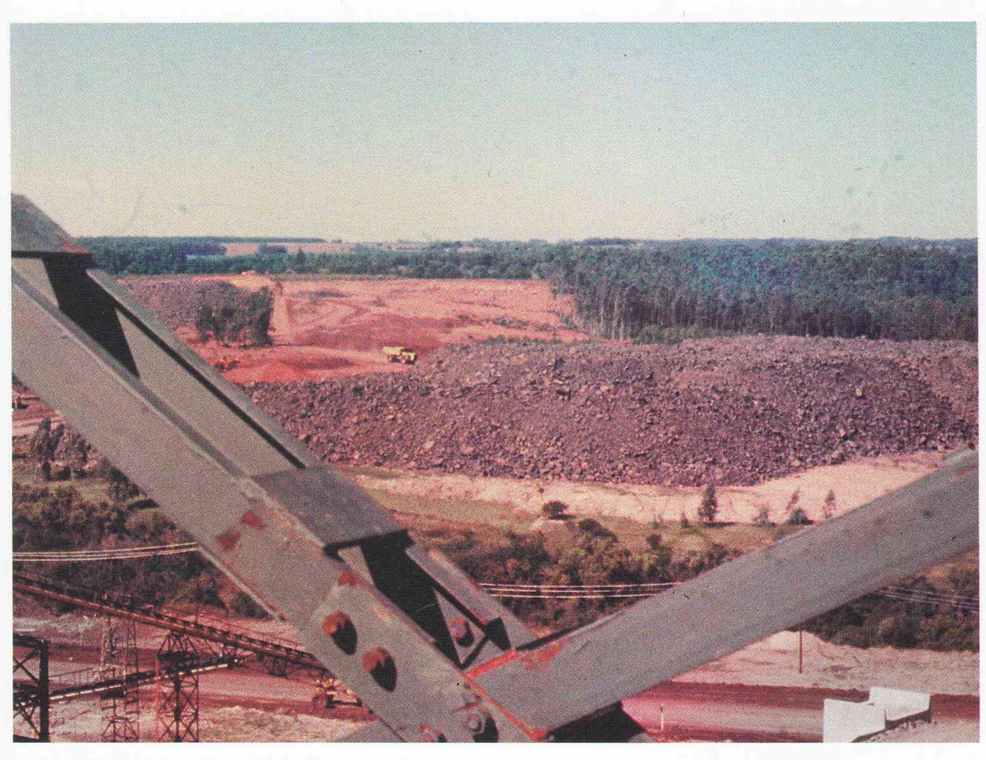


06

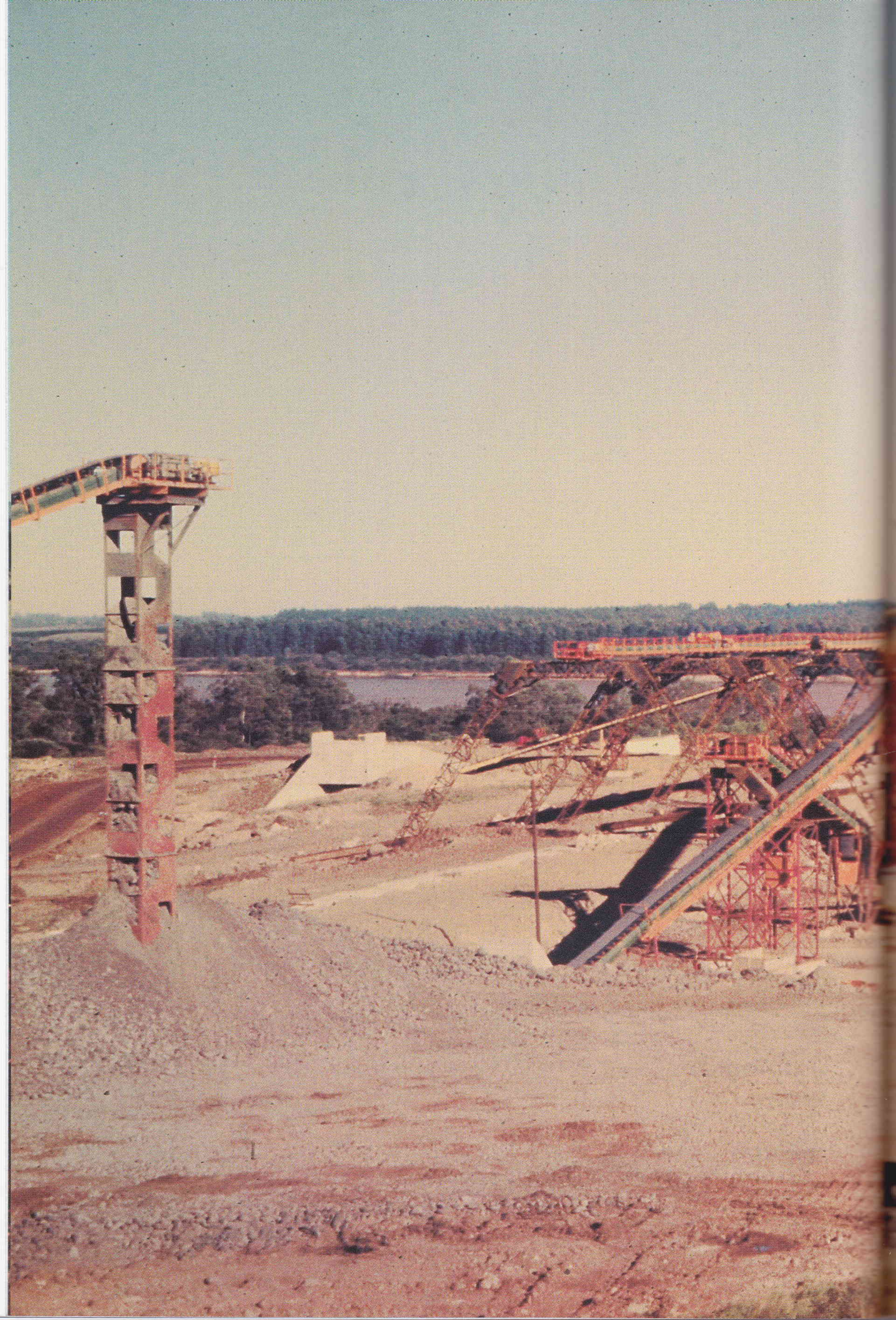
Los áridos, extracción y clasificación

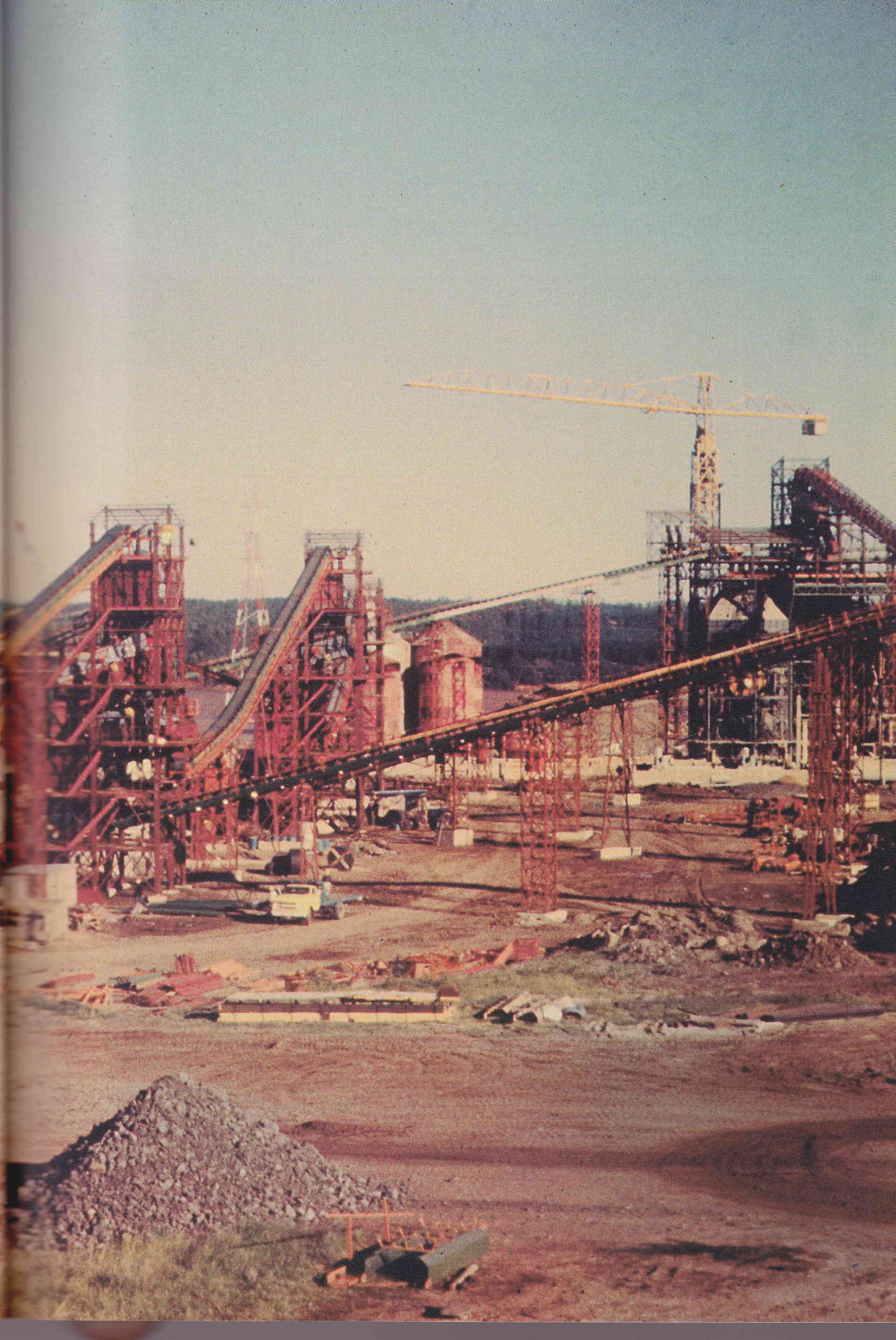
El material obtenido en los préstamos, aprobados en las especificaciones técnicas, se acumulaba en grandes volúmenes y con los tamaños propios del proceso de extracción.

Posteriormente, plantas de trituración y clasificación daban el tamaño final a los áridos según lo requerido por los criterios de diseño del proyecto para cada sector de la estructura.



Material extraído de cantera a ser triturado.





07

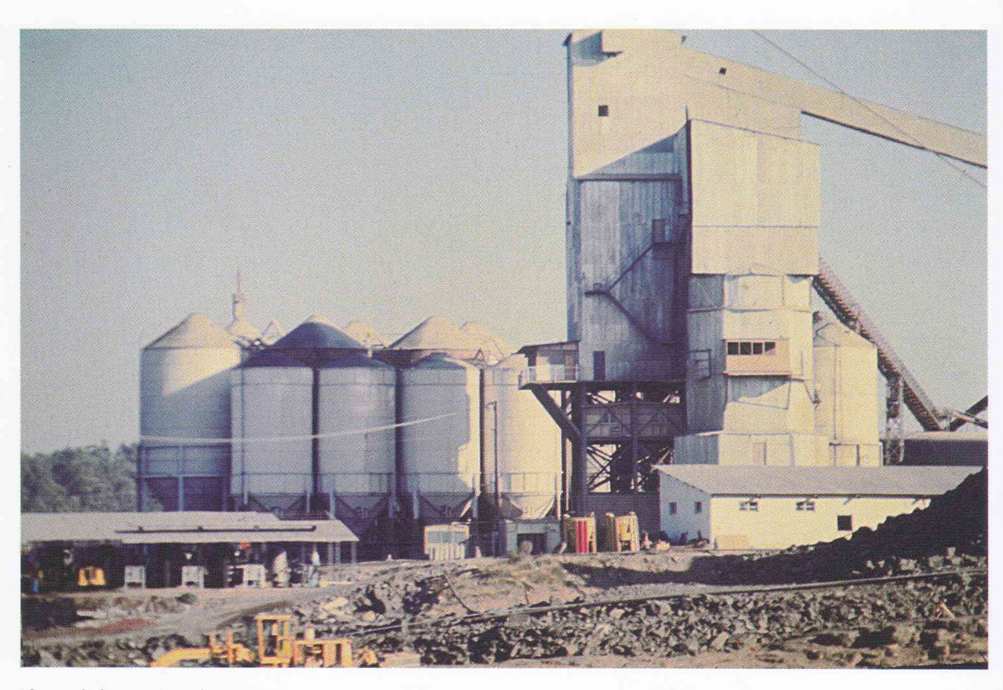
La planta de hormigonado, transporte y colocación

La planta de hormigonado tenía depósito de agua, silos de cemento y de áridos de distinto tamaño, para obtener la mezcla requerida en cada ocasión.

Además había una planta de hielo, que se necesitaba para mantener la temperatura de la mezcla en la colocación por debajo de los 15 grados centígrados, para evitar fisuras de contracción una vez fraguado el hormigón.

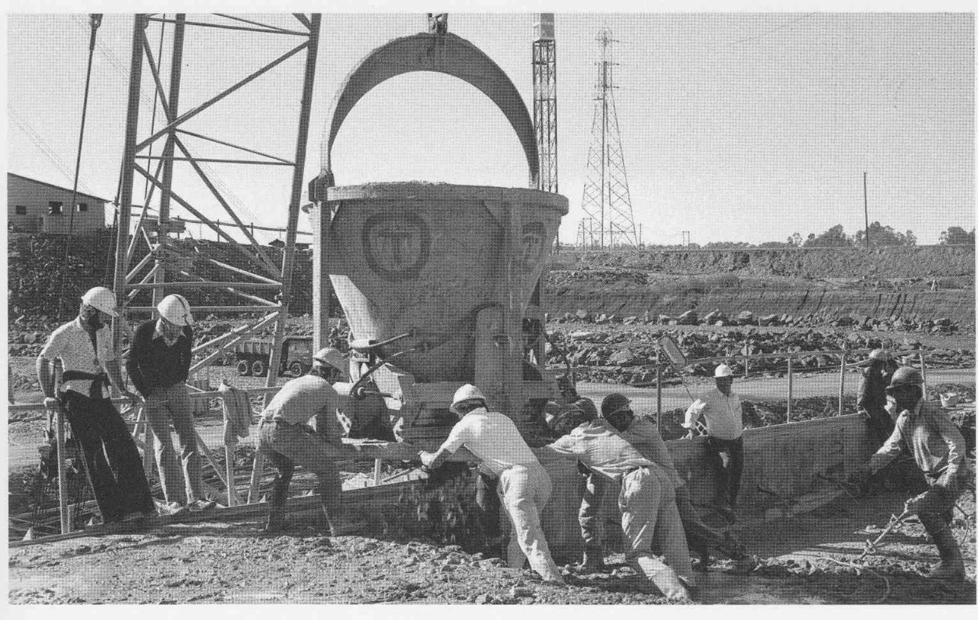
Dadas las altas temperaturas atmosféricas en la región, las tareas de hormigonado en general se iniciaban en los turnos nocturnos.

Un laboratorio de control de calidad de los hormigones, a cargo de la dirección de obra, supervisaba que cada mezcla cumpliera con las especificaciones del proyecto.



Planta de hormigonado.





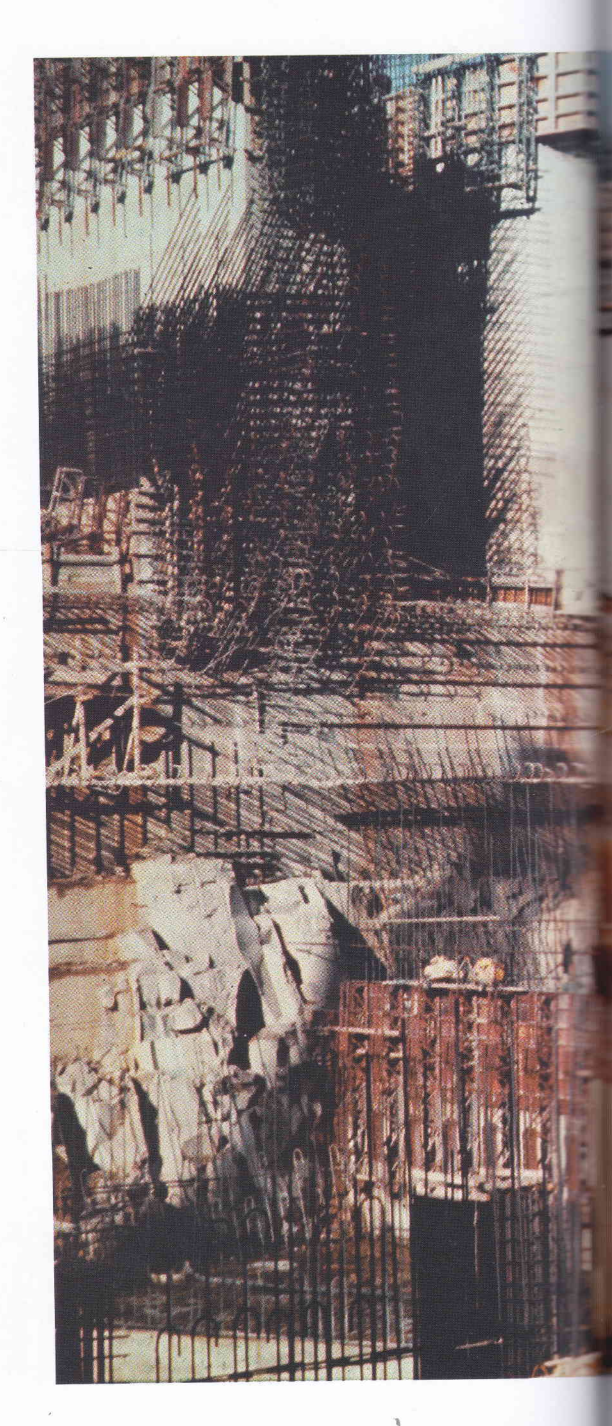


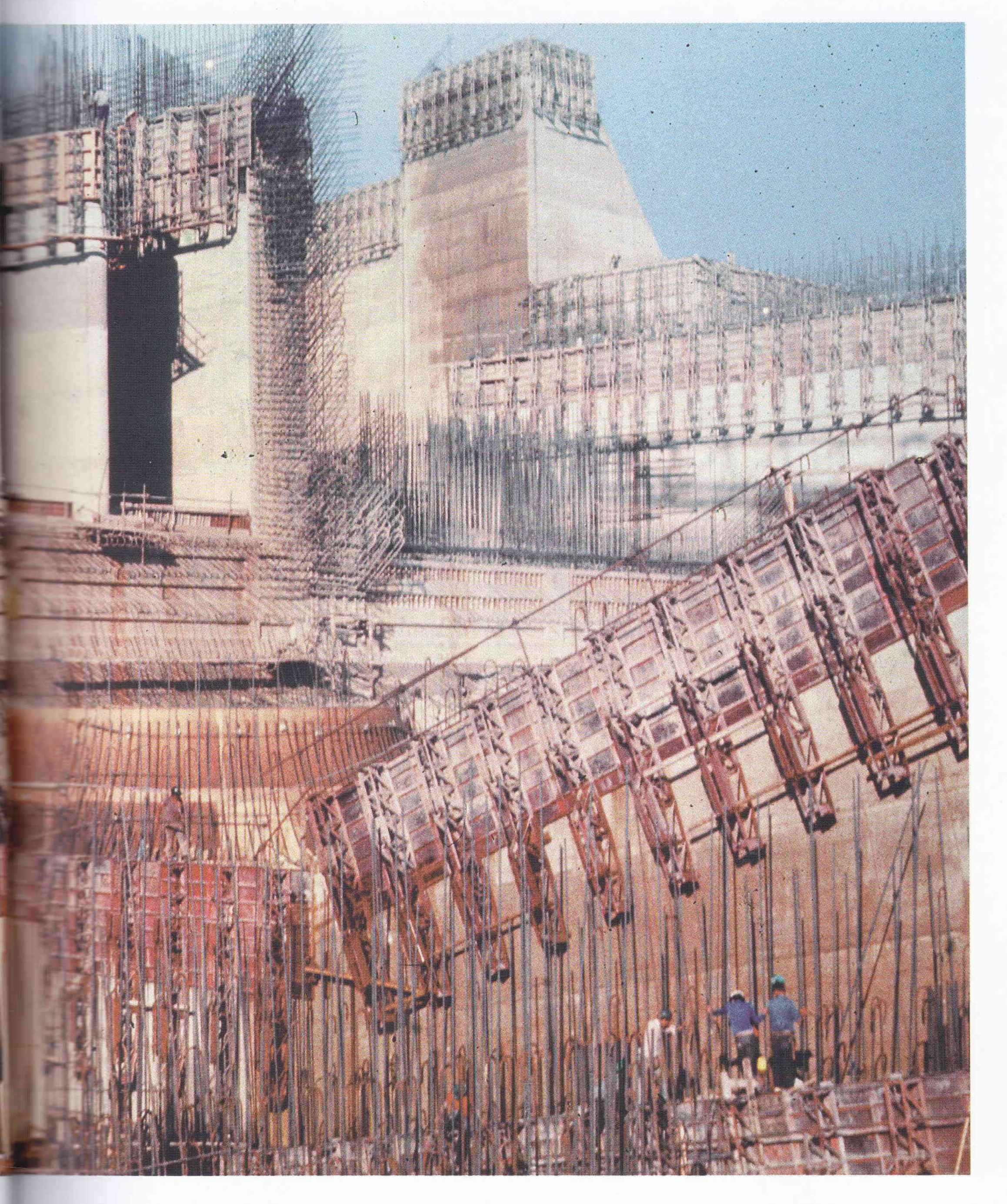
Uso de vibradores en la colada de hormigón.



08
Encofrados y armaduras

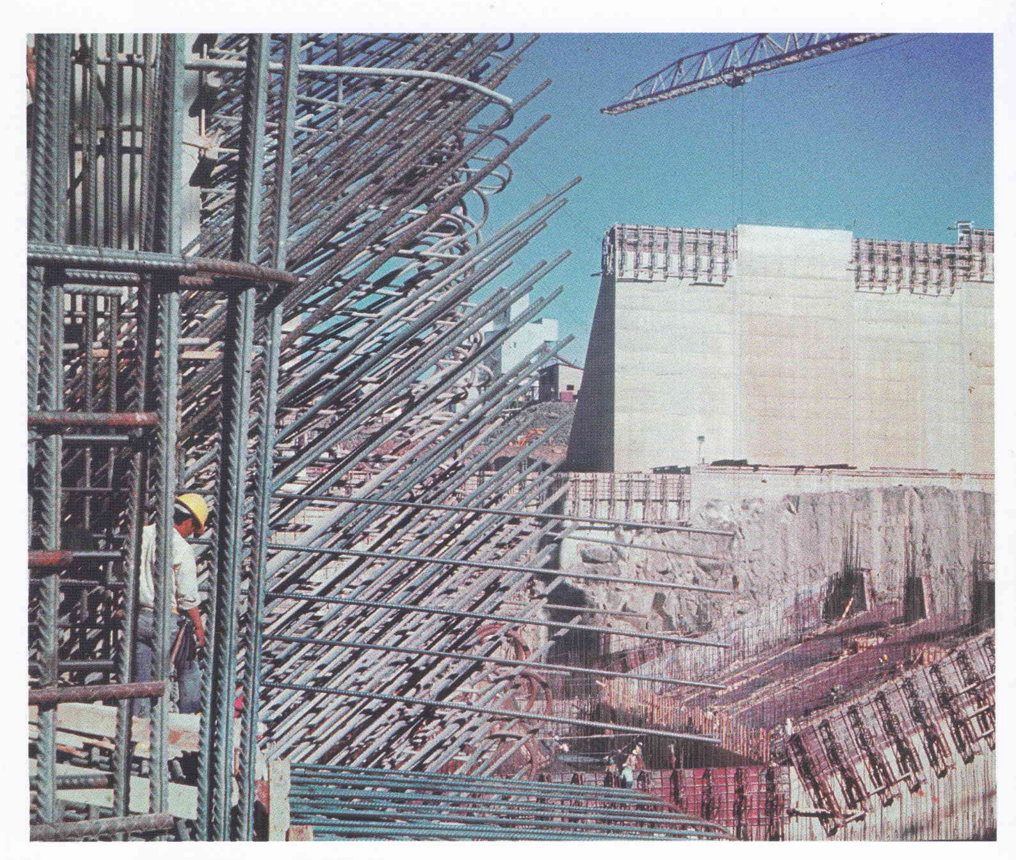
En la secuencia siguiente se aprecian las tareas de colocación y traslado de encofrados, revisación de armaduras y limpieza del espacio donde sería vertido el hormigón una vez aprobado por la inspección de obra a cargo del sector correspondiente.



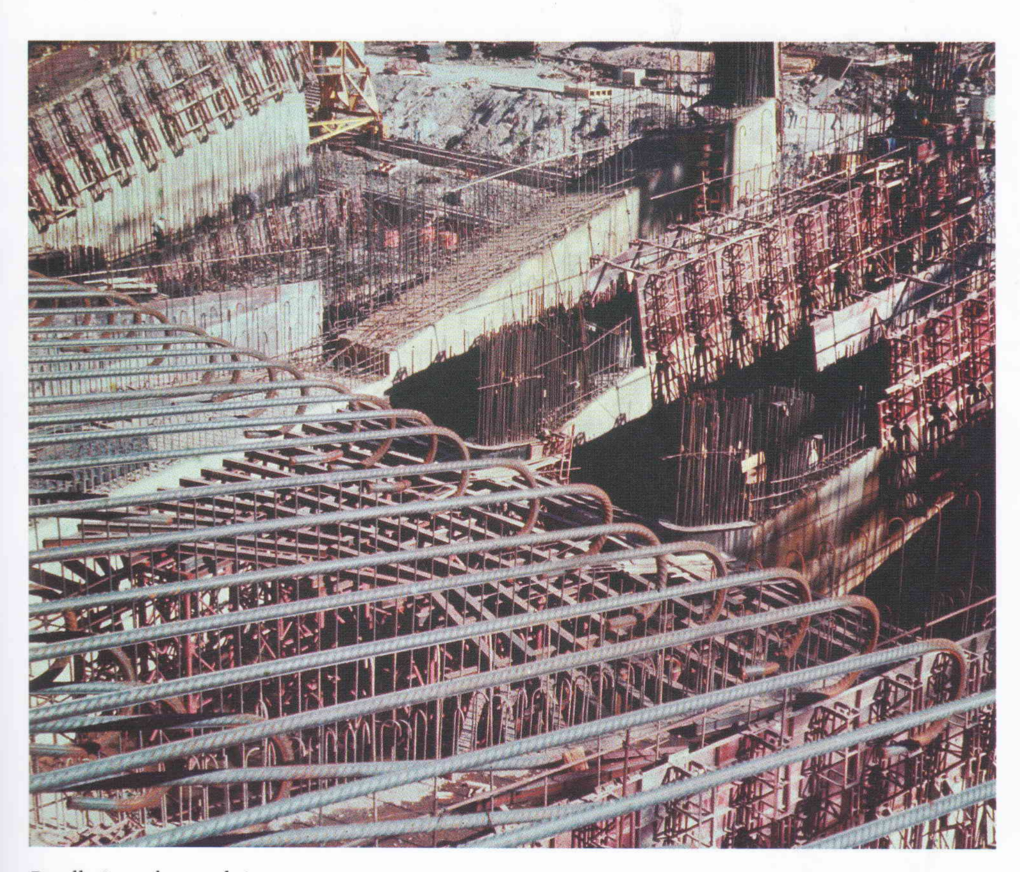








Central aguas abajo y muro de contención.



Detalle Central aguas abajo.

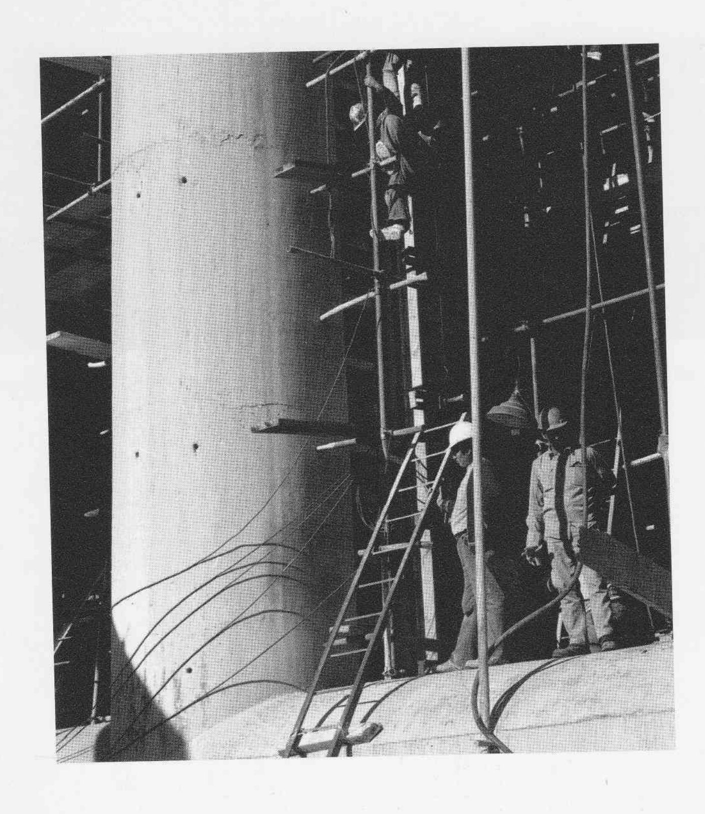
09
Hormigonado de segunda etapa y reparación de hormigones

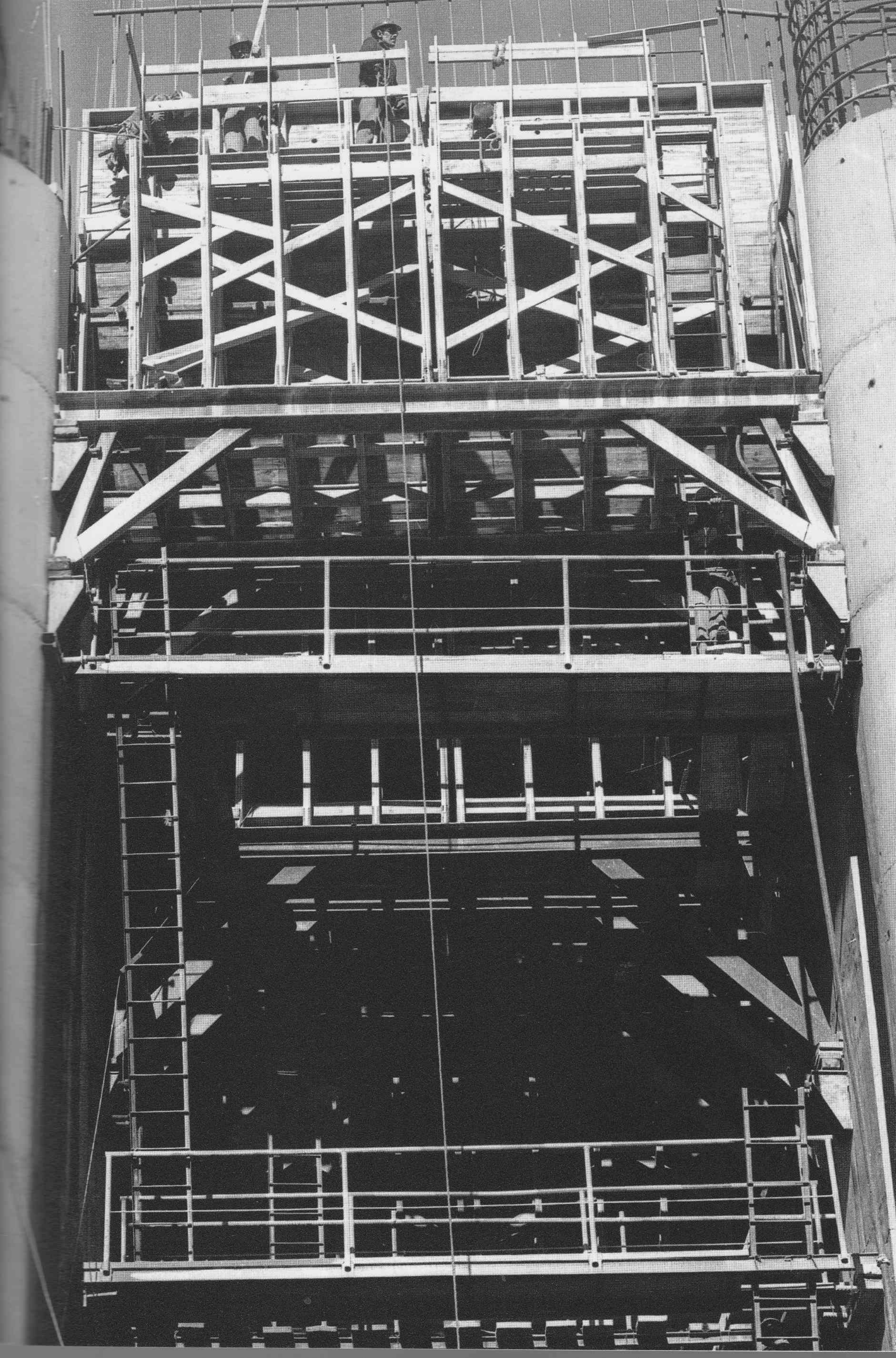
El hormigonado de segunda etapa es el que permitía vincular las guías metálicas de las compuertas a la estructura principal.

Por la precisión necesaria del sistema mecánico de cierre y deslizamiento de compuertas, diferente a la del llenado de la estructura principal, se dejaba un espacio hueco con hierros pasantes donde se soldaban las guías de compuertas.

Ese espacio hueco era llenado posteriormente como hormigón de segunda etapa, y con las técnicas apropiadas y los aditivos epóxicos especiales en su composición para garantizar la estanqueidad definitiva del lugar.

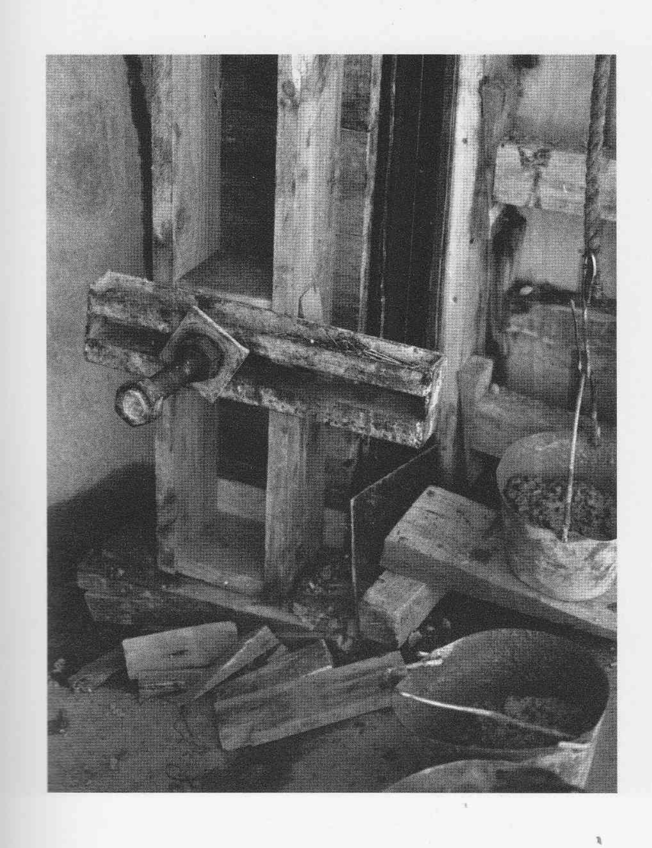
La reparación de hormigones se realizaba en aquellos puntos en que, una vez desencofrado el hormigonado de primera etapa, la superficie denotaba imperfecciones (los llamados "nido de abejas"). En dichos casos, se picaba la zona hasta encontrar material sin huecos visibles, y se procedía al rellenado con adhesivos epóxicos, para asegurar una adecuada unión entre hormigón fresco y hormigón endurecido (págs 50 y 51).

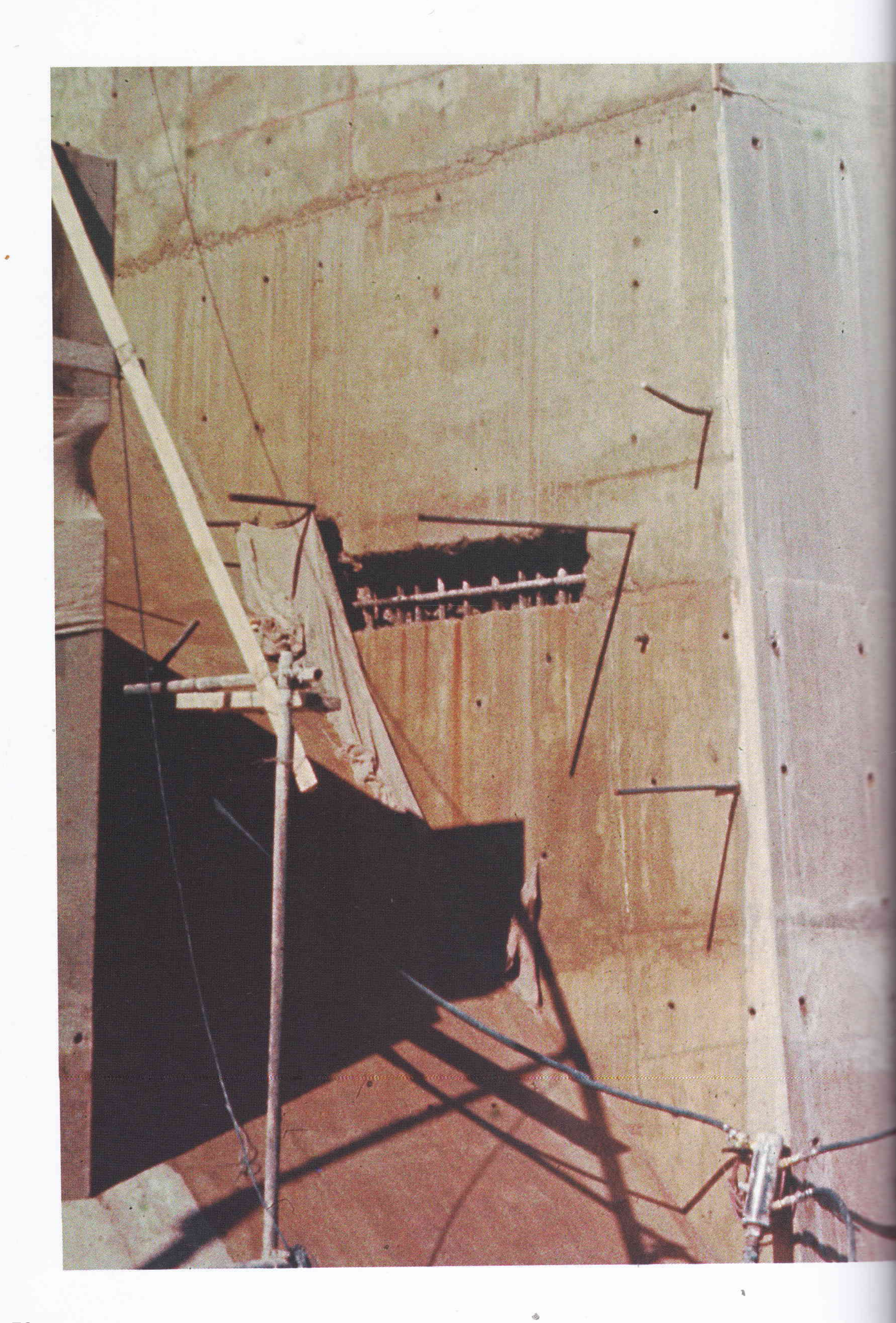


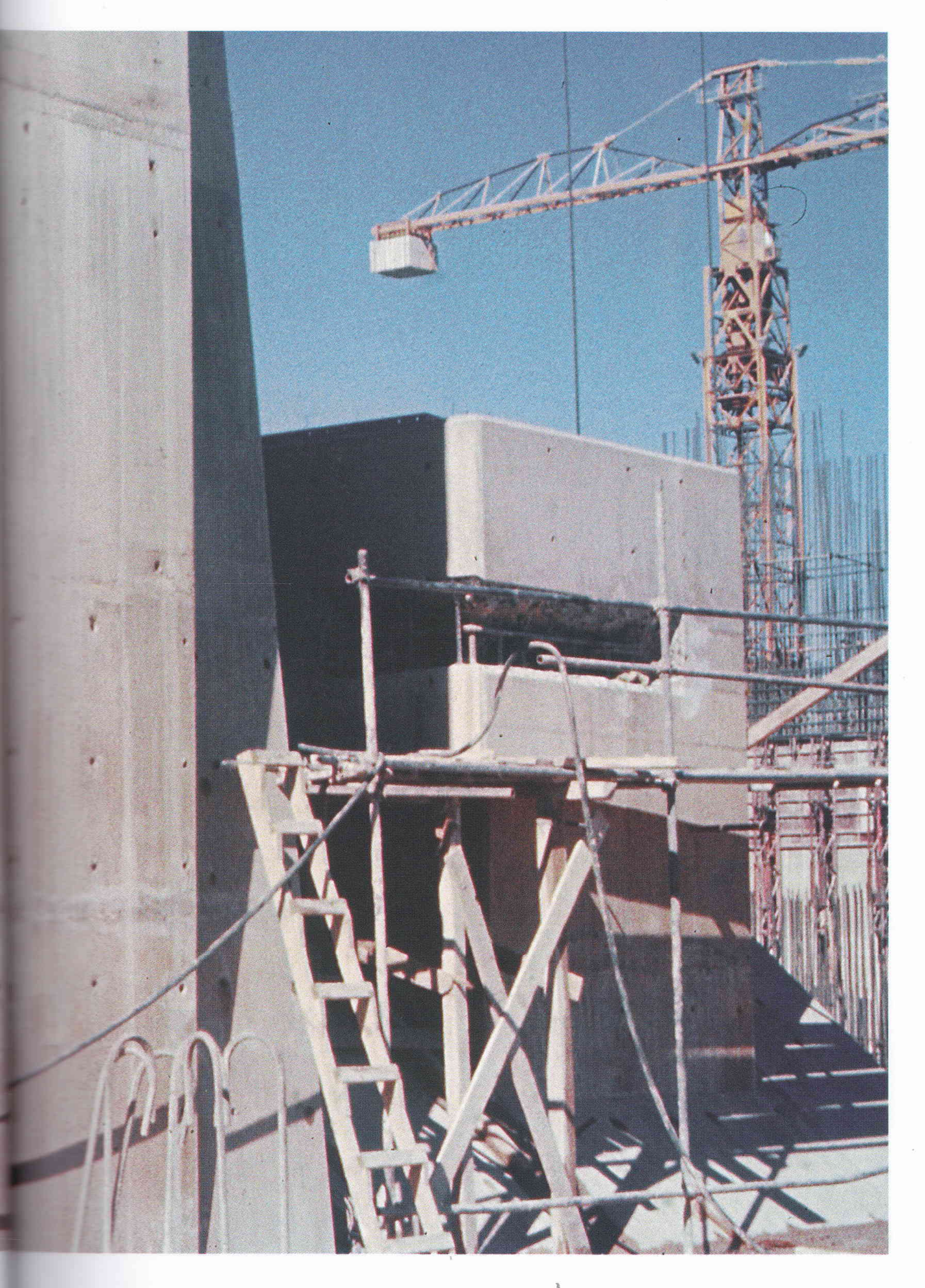










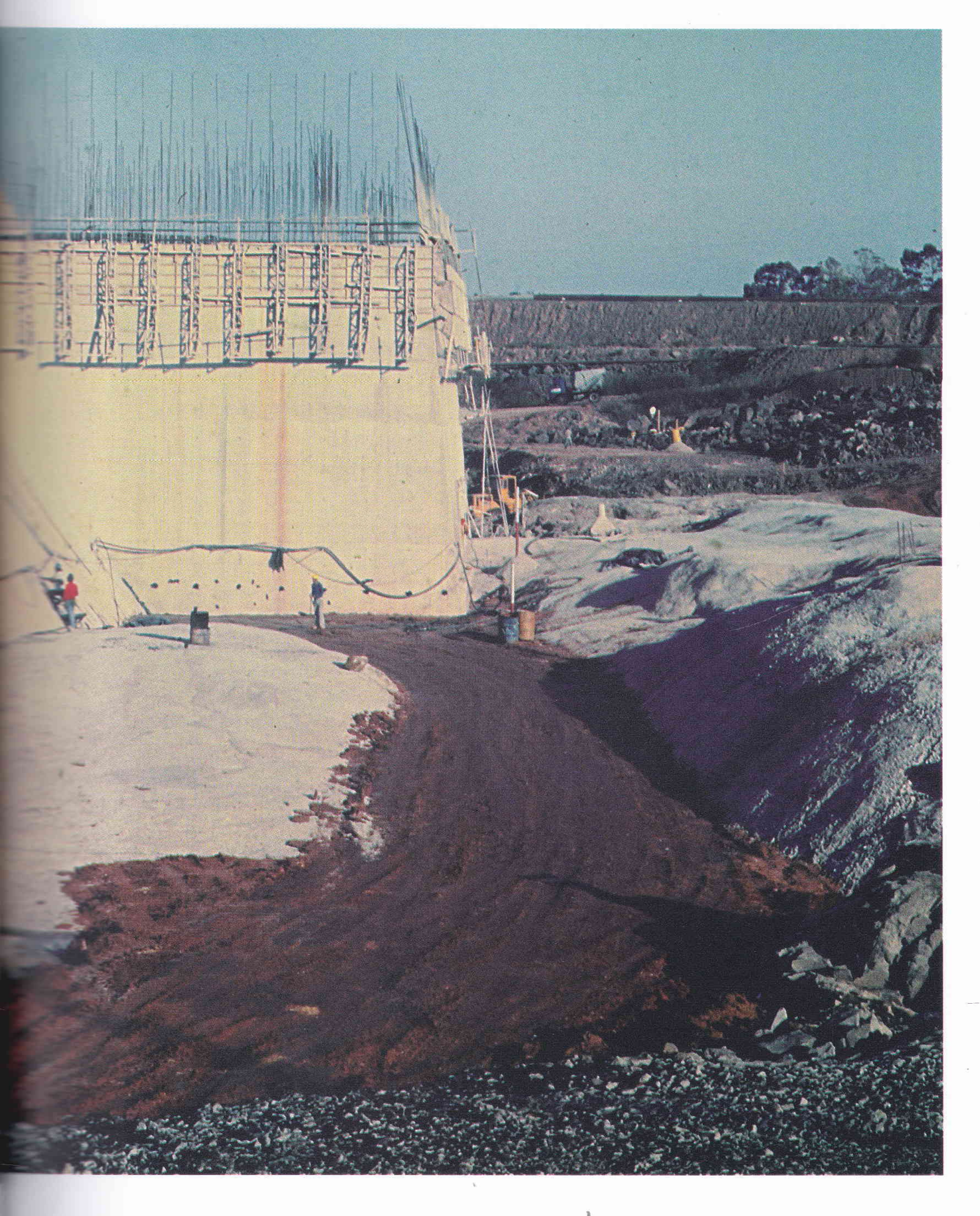


10
Presa de tierra

Se aprecian distintas etapas de su construcción y sus componentes: materiales arcillosos capaces de impedir el pasaje del agua, así como material rocoso de protección.

Los equipos de compactación aseguraban solidificar las sucesivas capas de material dispuestas hasta la altura de los muros de contención, visibles al fondo, de modo de que al producirse el embalse, la presa de tierra, a la misma cota de la estructura de hormigón, contuviera el nivel del embalse, extendiéndose por fuera de la estructura principal en ambas márgenes del río.

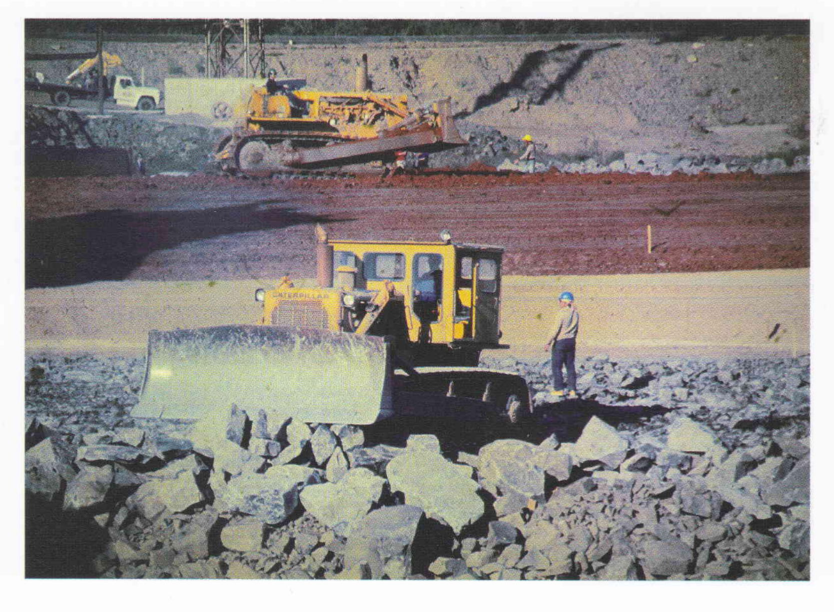






Materiales rocosos y arcillosos en presa de tierra.





11

Descargador de fondo y muro de contención

Las dos primeras fotos indican desde aguas arriba dos etapas constructivas del conjunto de obras en cuyos extremos izquierdos se aprecia el muro de contención.

Pueden observarse también detalles del muro de contención aguas abajo (pág 60), una vista general desde la presa de tierra, y finalmente, se ve el descargador de fondo entre el muro de contención y la primera central de generación (pág 61).

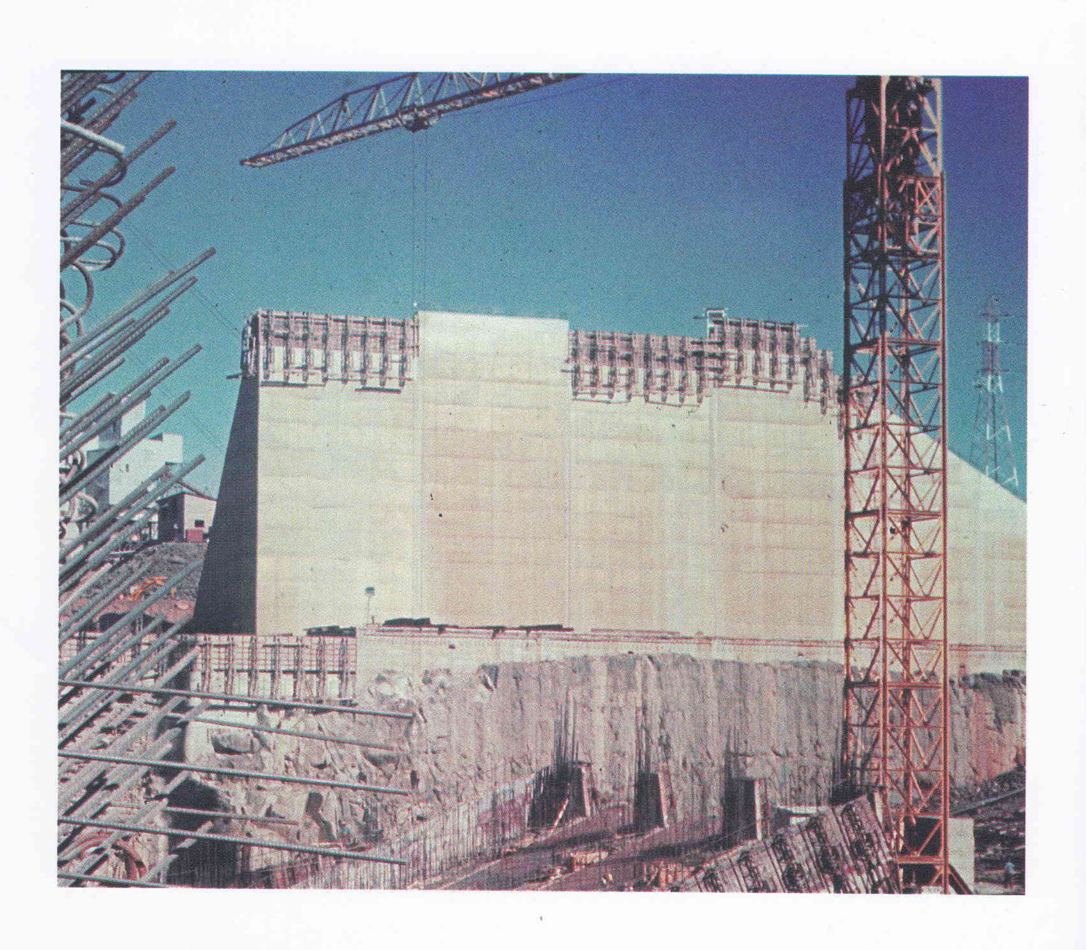









TEREX
21
TEREX
16





Muro de contención y descargador de fondo aguas abajo.

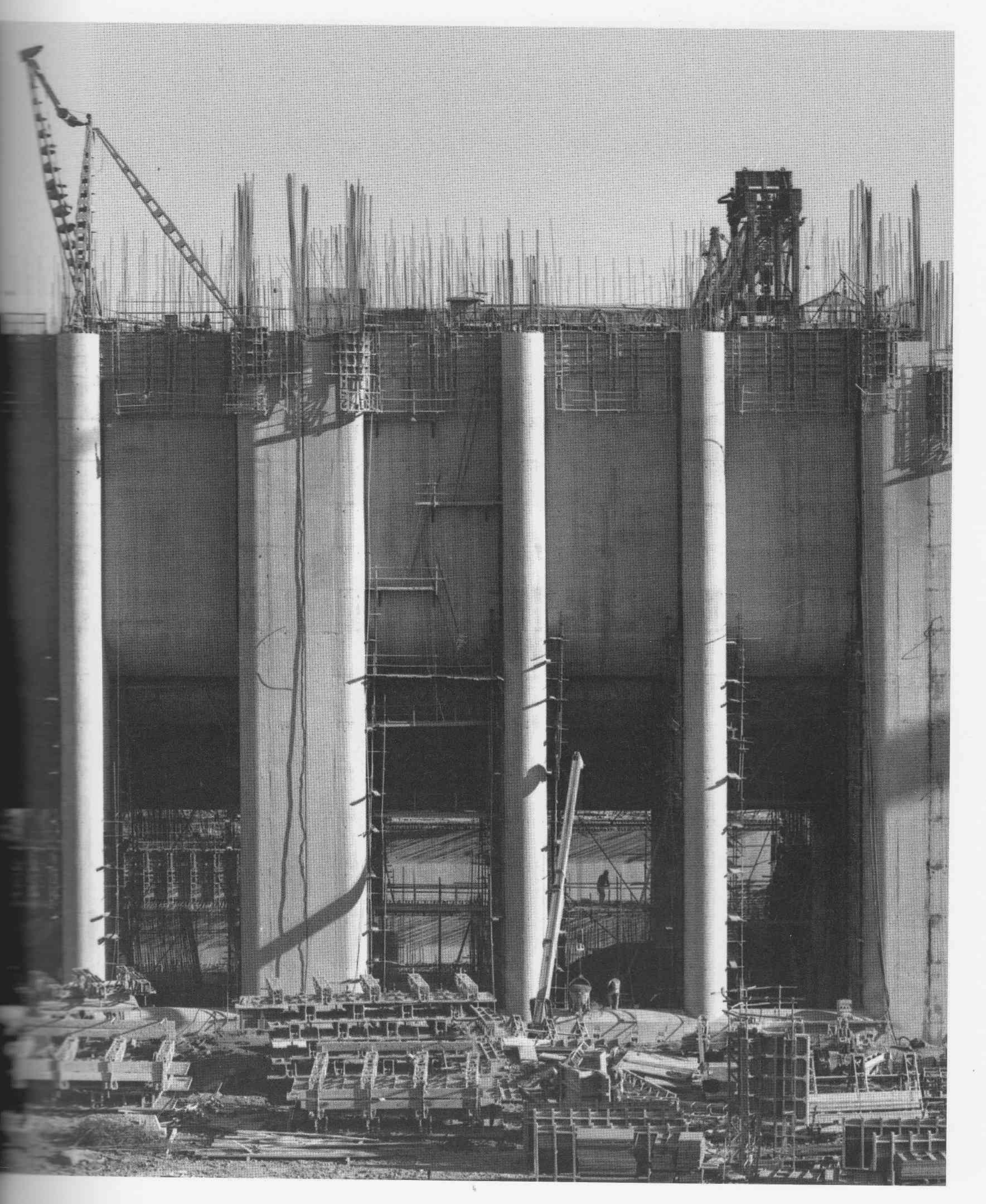
12
Centrales

La primera imagen desde aguas arriba es seguida de dos imágenes aguas abajo en distintas etapas de construcción.

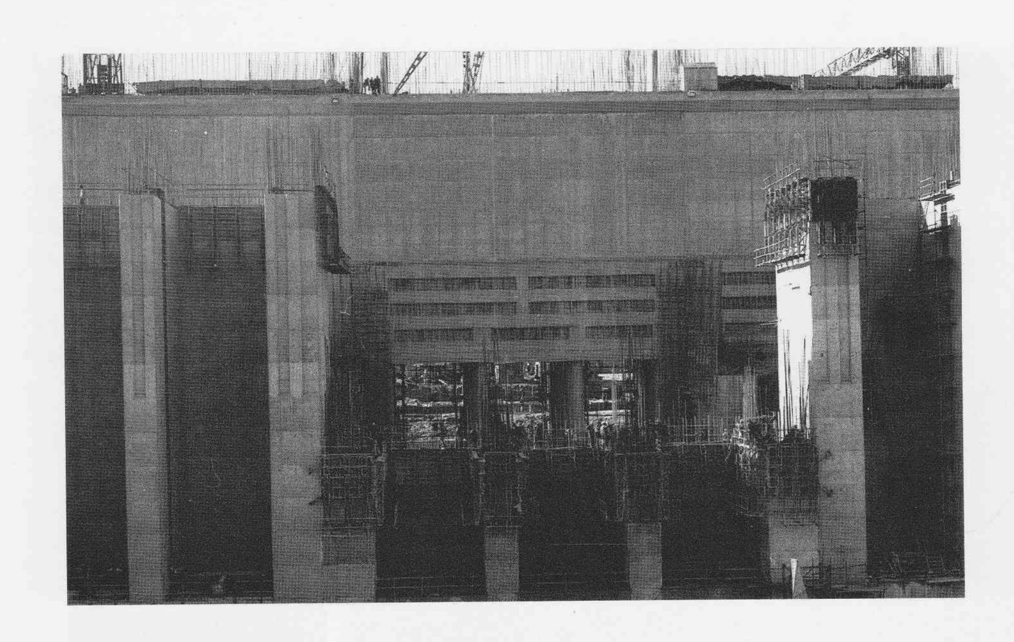
En la pág 65, arriba, se ve el detalle de la entrada a la espiral de la turbina, y debajo la salida aguas abajo del agua turbinada.

Las págs 66-67 muestran una vista general del interior de las centrales.





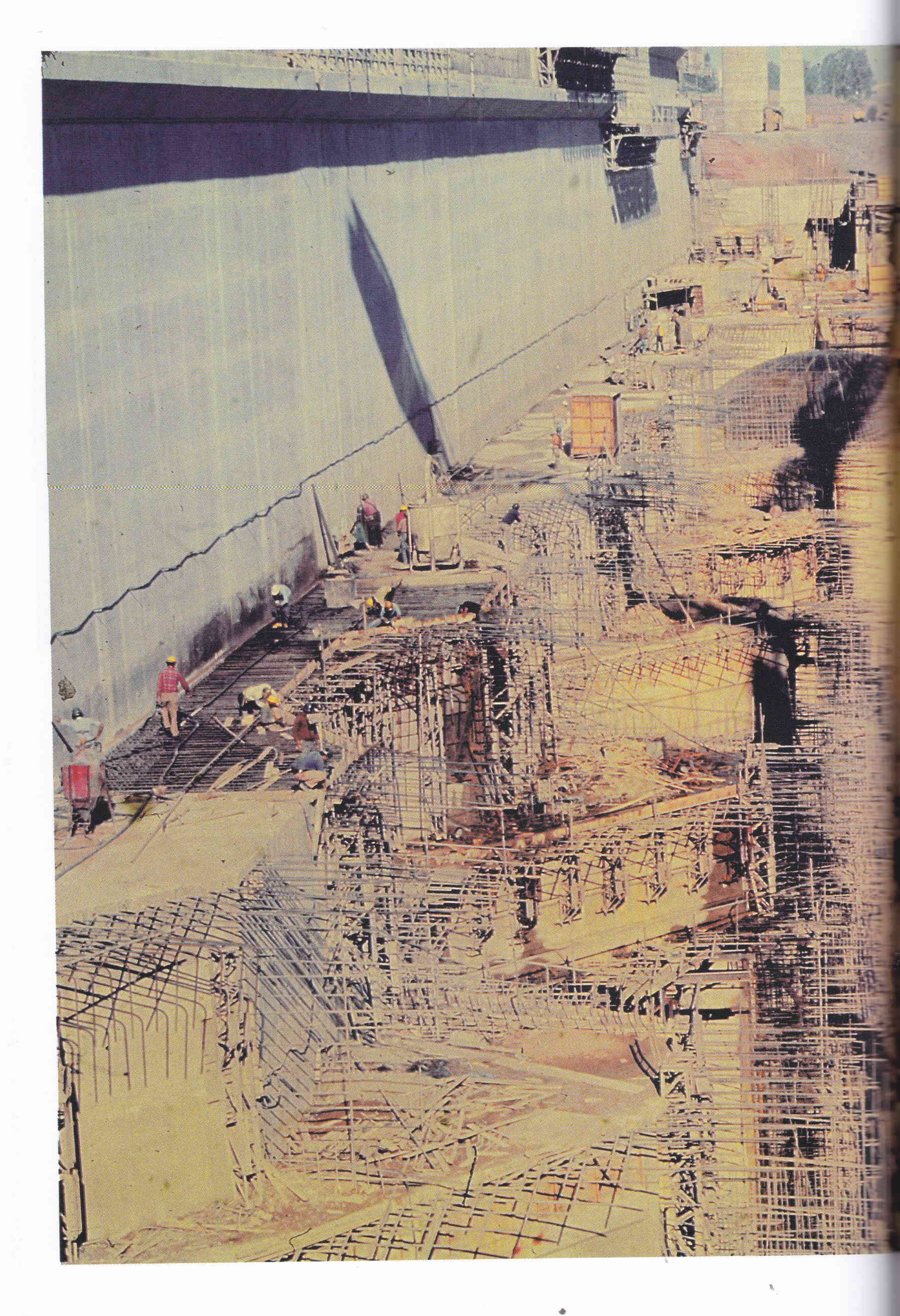
12
Centrales













13

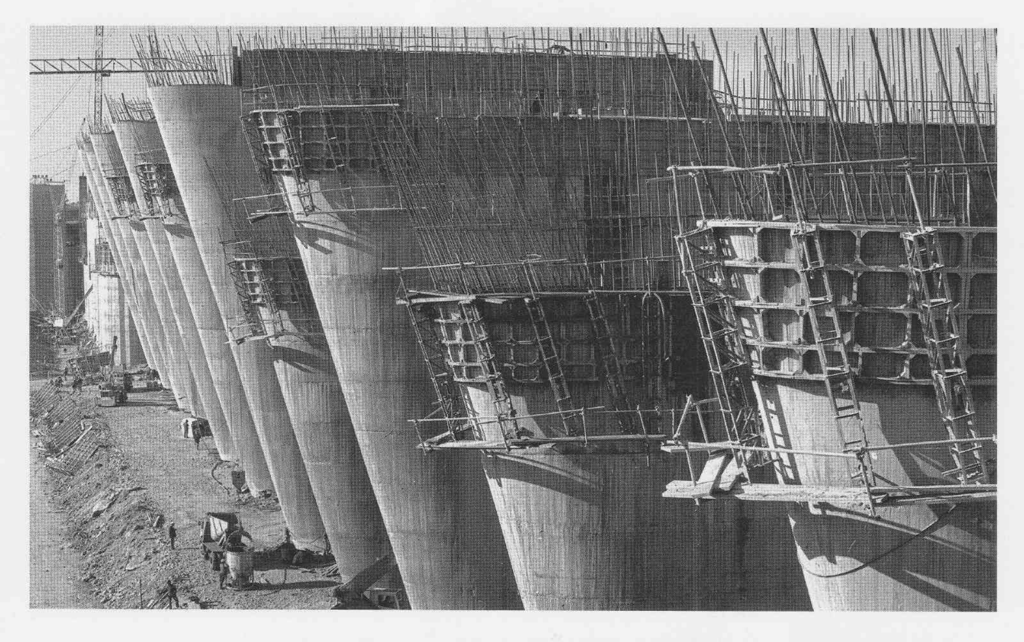
Vertederos y escala de peces

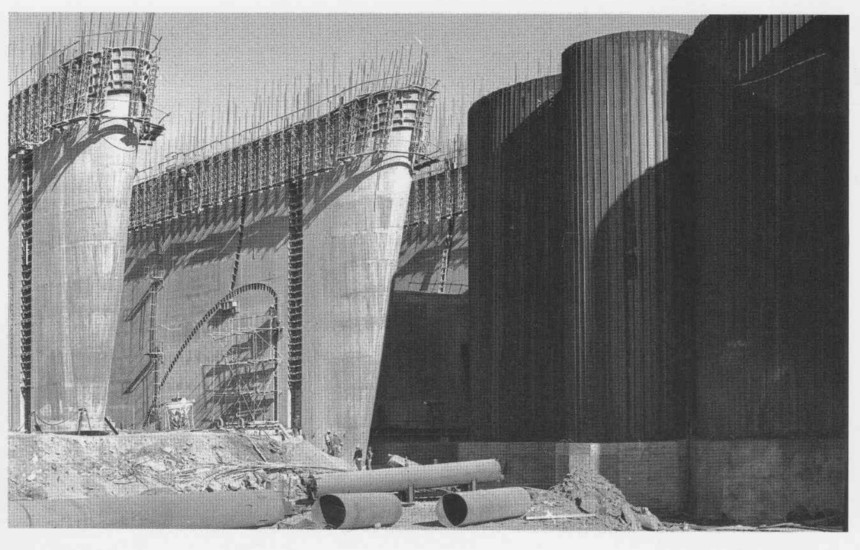
Las tres imágenes iniciales muestran los vertederos desde aguas arriba, y las tres siguientes desde aguas abajo. En las dos anteriores y en la siguiente se aprecian en detalle –y con una vista general en la siguiente– los dados disipadores de energía dispuestos para amortiguar la velocidad del agua, aguas abajo, y proteger la erosión de las márgenes naturales del río.

Al fondo de esta séptima imagen, un muro transversal contiene la escala de peces, con el objetivo de preservar el ciclo biológico de reproducción de los salmónidos, especie que remonta aguas arriba para desovar.

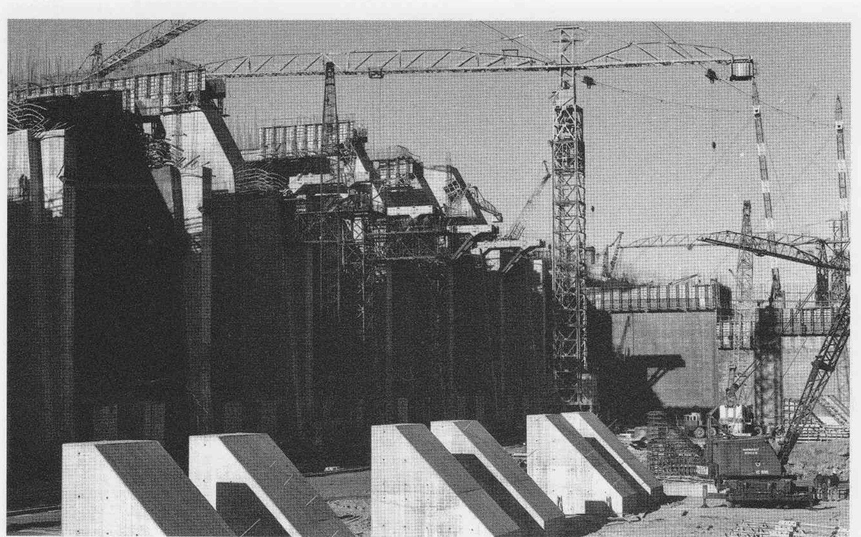
Las tres imágenes de págs 70-71 muestran detalles de la estructura en las paredes del vertedero, con espacios vacíos que serán rellenados con el hormigón de segunda etapa a fin de lograr el perfecto ajuste de las compuertas con las guías, lo que asegura la estanqueidad.



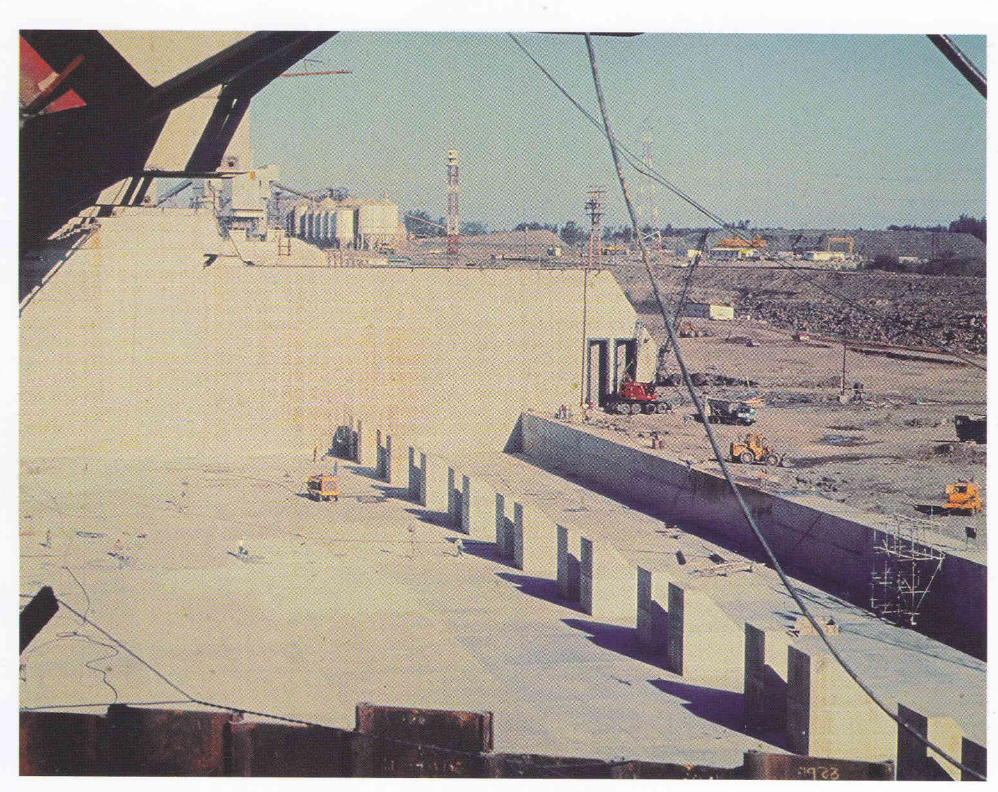




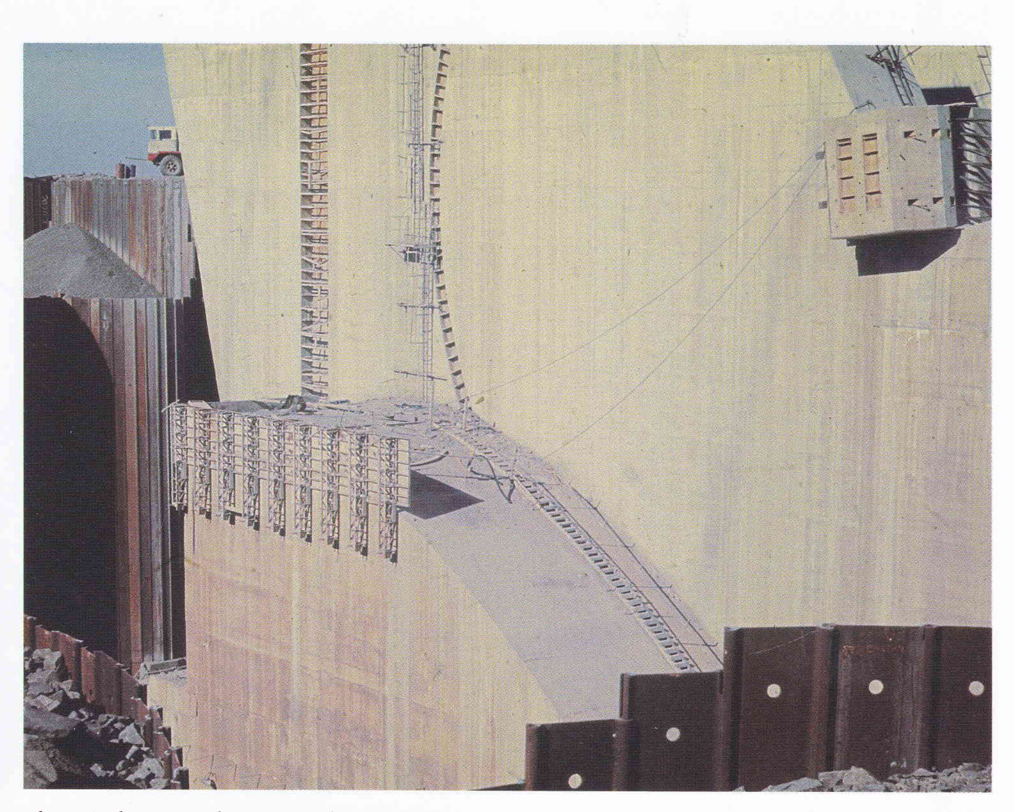








Dados disipadores en vertedero y muro que contiene la escala de peces.



Ubicación de guías a colocar en pared de vertedero.

14
Puente internacional, puente de servicio y prefabricados

Las dos primeras imágenes muestran el puente vial y ferroviario internacional; las dos siguientes ilustran el puente de servicio aguas abajo.

En las siguientes se aprecian los elementos prefabricados y su colocación aguas abajo en los vertederos.







Las grúas pórtico accionan las compuertas planas de las centrales aguas arriba.



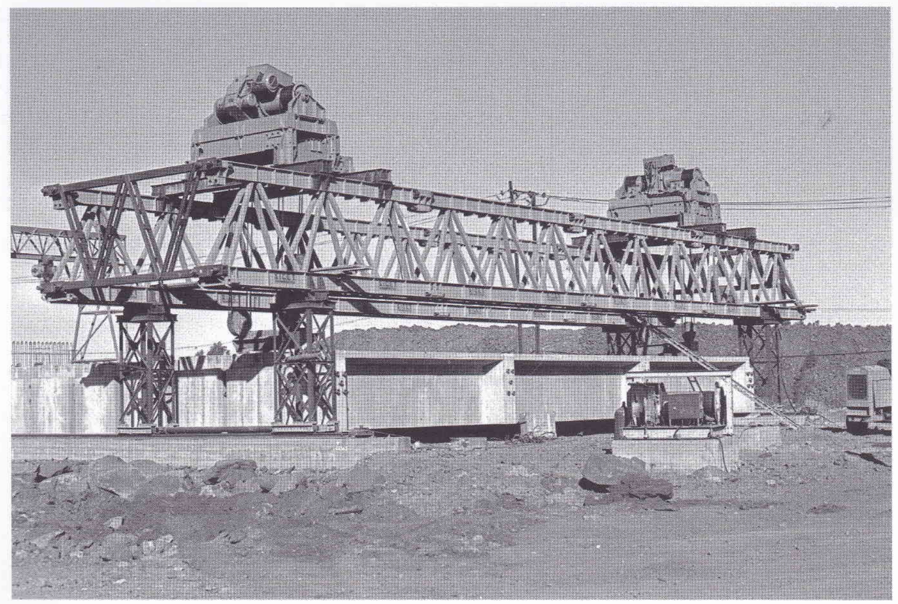


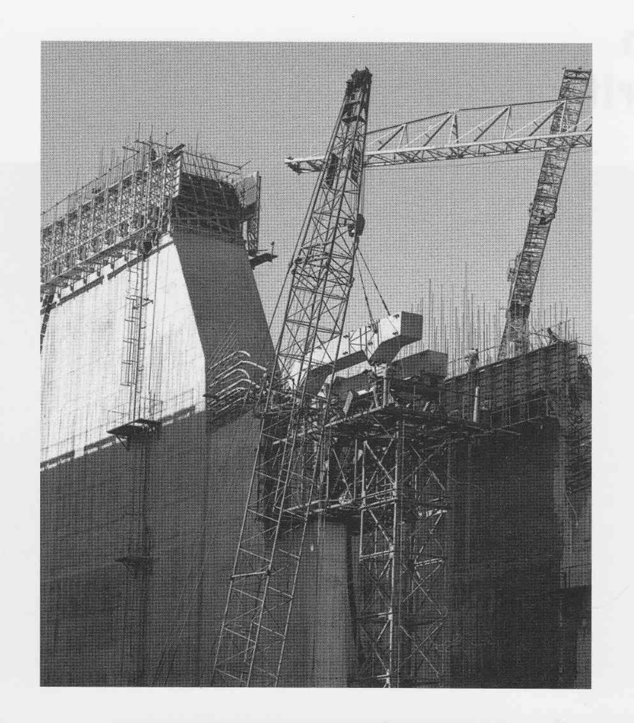
Puente de servicio aguas abajo y compuertas de vertederos cerradas.



Las compuertas radiales del vertedero dejan fluir el río.









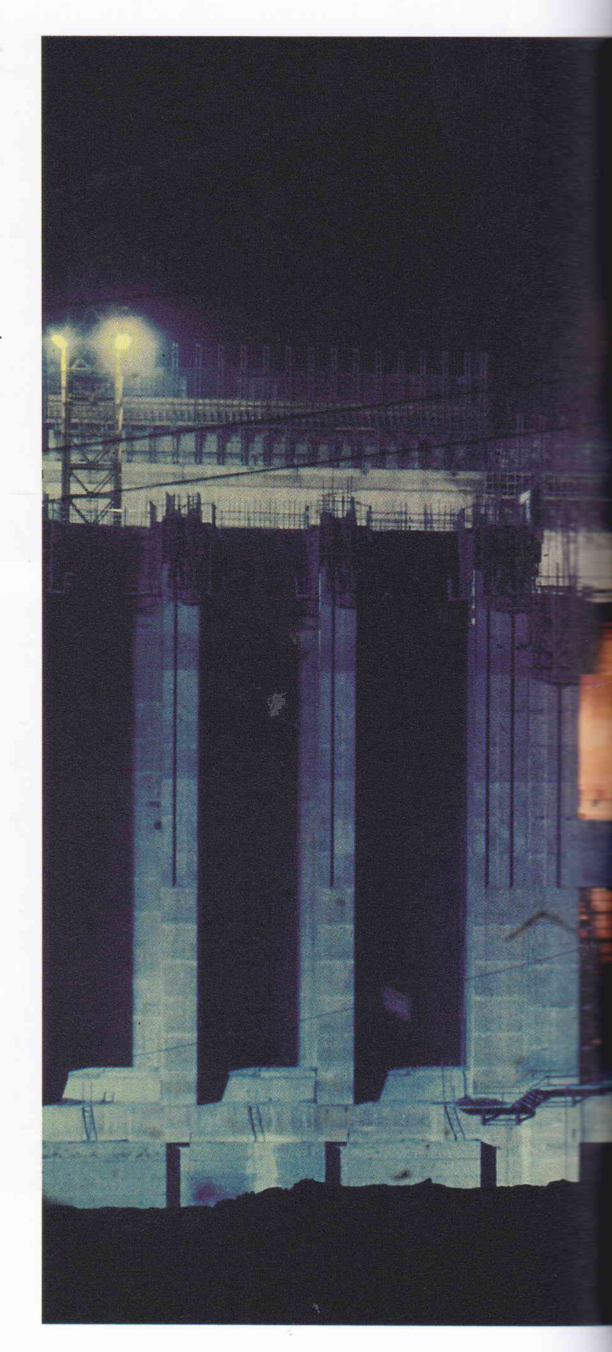
15
La organización de la obra y su ritmo semanal

La ejecución de la obra no tuvo pausas, se trabajó las 24 horas del día, todos los días de la semana. El contratista presentaba cada lunes el plan de trabajo de la semana, de modo que la inspección de obra organizaba, a partir de esa información, las tareas de inspección de cada colada de hormigonado.

En general, a comienzo de semana se desencofraba y se limpiaban los módulos de encofrado, luego se colocaba la armadura para el siguiente llenado y se disponían los encofrados correspondientes.

Estas tareas se realizaban los días subsiguientes, de modo de tener aprobado por la inspección el inicio del llenado, para comenzar a hacerlo el jueves a la noche o a más tardar el viernes. Dado el volumen de cada colada, y según el sector de obra, la tarea de llenado podía insumir más de 24 horas de trabajo ininterrumpido.

Se aprovechaban las bajas temperaturas nocturnas para evitar superar los 15 grados centígrados, temperatura máxima de la mezcla de hormigón, tal como lo exigían las especificaciones técnicas del contrato.





16
La inspección de obra, sus integrantes y la aprobación del hormigonado

El equipo consultor (Main y Asociados) a cargo de la dirección de la obra, dispuso para dicha tarea los siguientes equipos humanos según el tamaño de los sectores a controlar:

Sector Toma y Transición (descargador de fondo y muros de contención)
Un ingeniero, inspectores y subinspectores.

Se ve la casilla desde donde cada sector reunía documentos e integrantes de la inspección y a un inspector revisando armaduras (este sector estuvo a mi cargo).

Sector Centrales de Generación
Dos ingenieros, inspectores y subinspectores.

Sector Vertederos
Dos ingenieros, inspectores y subinspectores.

Como apoyo general a los sectores antes mencionados, la División de Topografía, con dos ingenieros especialistas en topografía y varios ayudantes, se encargaba de supervisar la correcta ubicación de cada colada de hormigón, según la planimetría y altimetría, es decir, de acuerdo a su ubicación con respecto al eje del proyecto y a las cotas indicadas en los planos.

Asimismo, esa unidad controlaba la geometría de los encofrados y su correcto posicionamiento.



Casilla de obra del sector Toma y Transición.





III EL PROYECTO DE LA OBRA CIVIL

El secreto silencio de las estructuras guarda en su intimidad la esencia de lo posible. En el proceso de concepción de la obra, hay una íntima asociación entre el proyectista y la materia a dimensionar, en la que ambas partes se reconocen y se aceptan en particular armonía. A partir de esa armonía inicial, se dispara la imaginación para concretar la nueva forma a crear.

El proyecto, con sus planos y memorias constructivas, debe echar raíces sólidas en el terreno que lo recibe. Nace y crece con vigor si sus materiales son los correctos y su realización es apropiada. Eso es la obra.

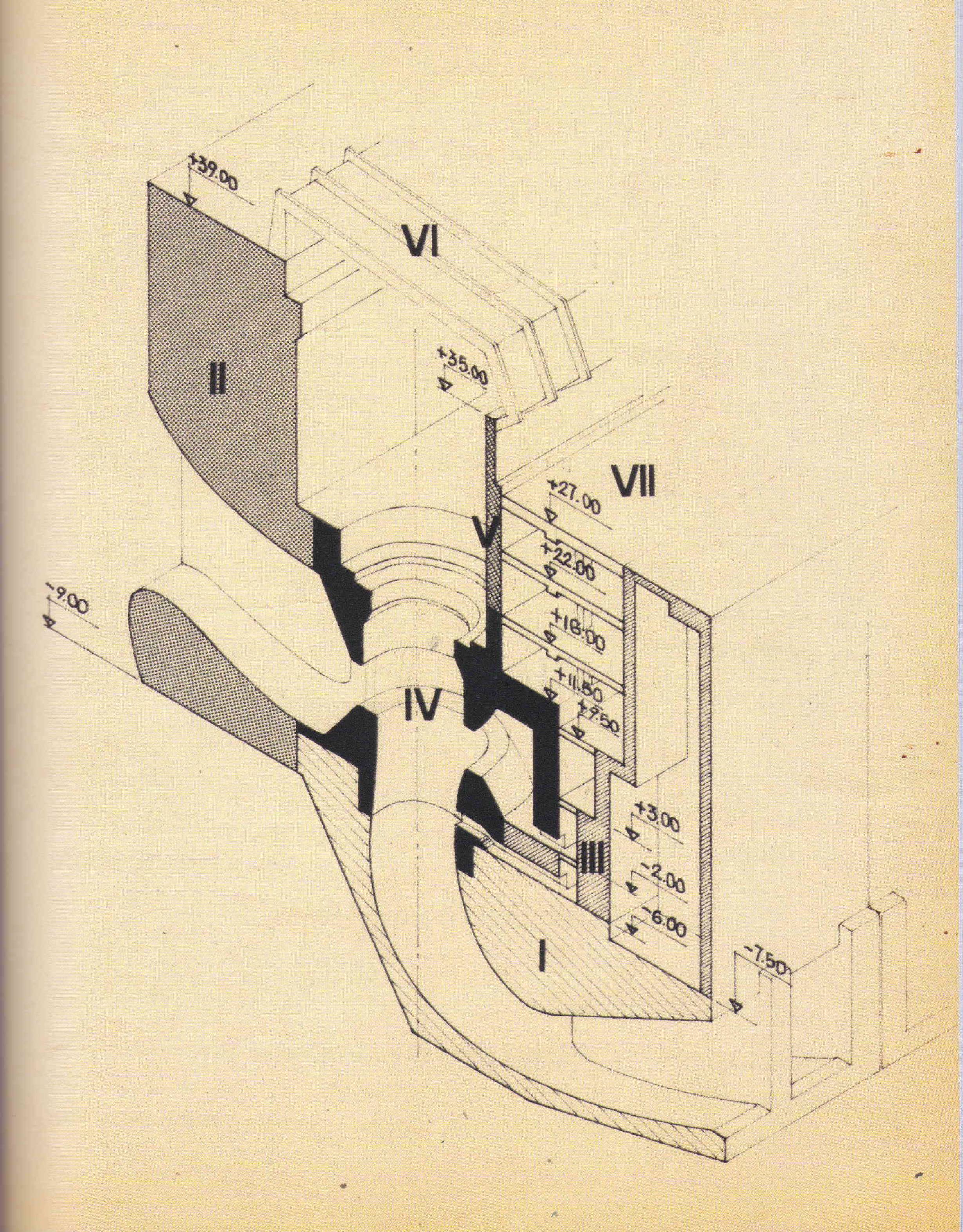
17

Los criterios de diseño

El equipo de proyecto tuvo como primera tarea redactar los criterios de diseño a tener en cuenta al dimensionar cada elemento estructural de la represa. El documento finalmente aprobado por las autoridades del consorcio consultor resultó, con sus 65 páginas, la guía de consulta de cada uno de los ingenieros calculistas. Se adjuntan aquí algunas páginas que permiten ver los valores recomendados para las tensiones admisibles de los materiales, y los coeficientes de seguridad a ser respetados en cada situación de análisis a considerar.

El corte de la estructura por el eje de la turbina, y los siete sub sectores allí indicados, dan una pauta de la complejidad estructural a abordar en dicha unidad (figura 1).

FIGURA 1



+39.00
VI
+35.00
II
VII
+27.00
V
+22.00
-9.00
+16.00
+11.50
IV
+9.50
+3.00
III
-2.00
-6.00
I
-7.50



CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO

INDICE GENRAL

CRITERIOS DE DISEÑO CIVIL

CRITERIOS DE DISEÑO ELECTRICOS Y MECANICOS



4. Cálculo y dimensionado de elementos estructurales

4.1. Cálculo de solicitaciones

El cálculo de solicitaciones se realizará por el mé- do elástico y considerando las cargas que en cada ca- so se indiquen.

4.2. Dimensionado de las secciones

El dimensionado se realizará en régimen de rotura (Es- tado III), de acuerdo con PRAEH y con las limitacio- que se indiquen.en 4.

4.3. Materiales

4.3.1. Hormigones

Los tipos de hormigón a ser utilizados para los ele- mentos estructurales estarán definidos por la resis- tencia características σ'_{bk} , y serán los siguient

Tipo I $\sigma'_{bk} \geq 300$ kg/cm^2
Tipo II $\sigma'_{bk} \geq 210$ kg/cm^2
Tipo III $\sigma'_{bk} \geq 170$ kg/cm^2
Tipo IV $\sigma'_{bk} \geq 130$ kg/cm^2 (sin armar)

A los efectos de dimensionado, se reducirán las tensio- nes características σ'_{bk} a los siguientes valores de cálculo β_R

hormigón Tipo	σ'_{bk}	β_R
I	300	230
II	210	175
III	170	140

En los planos de capas de hormigonado se indican los tipos de hormigón a utilizar en cada zona.



4.3.2. Aceros

Se utilizará acero tipo III según PRAEH con límite de fluencia ⩾ 4200 kg/cm² o acero de dureza natural con límite de fluencia ⩾ 4200 kg/cm².

4.3.3. Criterio de selección de armadura

Se seguirá el siguiente criterio de selección de la armadura, en zona de desplazmiento restringido.

Si Ac > Am
y Ac > An, se adopta Ac.

Si Ac < Am
y Am < An, se adopta Am

Si Ac < An
y An < Am, se adopta An.

Am máx de contracción
Ac de cálculo
An Ar mínima nominal

Donde:

a) Armadura mínima nominal de contracción
   An: 1,5 °/oo de la sección en cada cara.
b) Armadura máxima de contracción
   Am vertical: Ø 25 c/30 en cada cara (16,36 cm²/m)
   Am horizontal: Ø 32 c/30 en cada cara (26.81 cm²/m).
c) Armadura de cálculo:
   Ac: la que resulte del dimensionado.

Resulta entonces:

Elemento	Espesor	Armadura Contracción Vertical	Armadura Contracción Horizontal
Muros	< 1,10 m	1,5 °/oo	-
	> 1,10 m	Ø 25 c/ 30cm	Ø 32 c/30 cm
Losas	< 1,80 m	-	1,5 °/oo
	> 1,80 m	-	Ø 32 c/30 cm

OFICINAS EN: BOSTON, MASSACHUSETTS, U.S.A. · BUENOS AIRES, ARGENTINA · MONTEVIDEO, URUGUAY



4.4 Coeficientes de seguridad para flexión y flexión compuesta

Se adoptan los siguientes coeficientes de seguridad

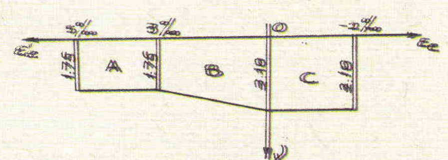
Zona	Situación normal.	Situación de Emergencia	
		Emergencia 1	Emergencia 2
A	1,75	1,35	1,20
C	2,10	1,60	1,40

Donde Zona A: Rotura con alargamiento específico de la armadura traccionadas $\varepsilon_e \geq 3‰$

Zona B: Rotura con alargamiento específico de la armadura traccionada $0 \leq \varepsilon_e < 3‰$

Zona C: Rotura sin alargamiento específico de la armadura. $\varepsilon_e \leq 0‰$.

Para los coeficientes de seguridad en zona B, se interpolará linealmente entre los valores indicados en zona A y C.



4.5 Empalmes de armaduras

Los empalmes de barras se realizarán por yuxtaposición o por soldadura.

4.5.1 Empalme por yustaposición

Se considerará como longitud de superposición, sin tener en cuenta los ganchos, la que resulta de aplicar la siguiente expresión:

$$l_d = \gamma \times \frac{4.200}{f_{bk}} \text{ kg/cm}^2 \times \phi \quad \text{siendo } \gamma = 1,6 \text{ (con ganchos)}, \quad \gamma = 2 \text{ (sin ganchos)}$$



4.5.2 Empalme por soldadura

Los empalmes por soldadura se realizarán de acuerdo a lo especificado por la AWS D 12.1.

4.6 Recubrimientos

Se adoptará el siguiente recubrimiento mínimo:

Tipo de construcción	Caras interiores	Caras exteriores sobre cota normal de agua o terreno.	Caras expuestas al agua o Terreno.
Pisos, losas, paredes e < 0,30m	0,025 m	0,040 m	0,050 m
Vigas y losas e > 0,30 m	0,040	0,050	0,080
Columnas y paredes e > 0,30 m	0,040	0,050	0,080
Grandes Secciones > 1,00 m	0,040	0,050	0,130

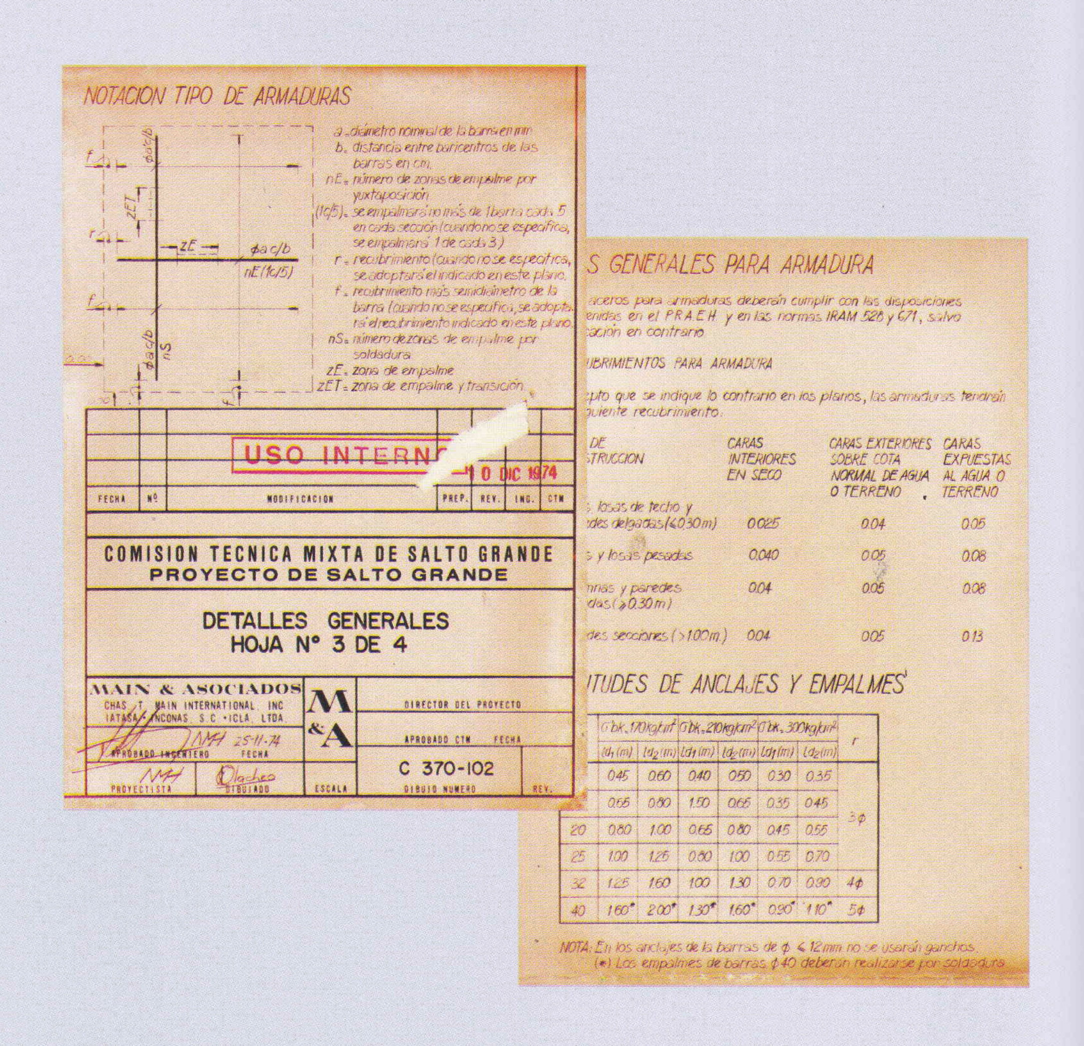
OFICINAS EN: BOSTON, MASSACHUSETTS, U.S.A. - BUENOS AIRES, ARGENTINA - MONTEVIDEO, URUGUAY

18

Los planos para construir la estructura

Las dos primeras imágenes muestran el sello general de los planos y una nota general para armaduras.

En la imagen siguiente, un plano provisorio aclara detalles de la excavación.



NOTACION TIPO DE ARMADURAS

a = diámetro nominal de la barra en mm
b = distancia entre baricentros de las barras en cm.
nE = número de zonas de empalme por yuxtaposición
(1c/5) = se empalmará no más de 1 barra cada 5 en cada sección (cuando no se especifica, se empalmará 1 de cada 3)
r = recubrimiento (cuando no se especifica, se adoptará el indicado en este plano.
f = recubrimiento más semidiámetro de la barra (cuando no se especifica, se adoptará el recubrimiento indicado en este plano.
nS = número de zonas de empalme por soldadura
zE = zona de empalme
zET = zona de empalme y transición

USO INTERNO
10 DIC 1974

FECHA	Nº	MODIFICACION	PREP.	REV.	ING.	CTM

COMISION TECNICA MIXTA DE SALTO GRANDE
PROYECTO DE SALTO GRANDE

DETALLES GENERALES
HOJA Nº 3 DE 4

MAIN & ASOCIADOS
CHAS. T. MAIN INTERNATIONAL INC
IATASA - INCONAS S.C. - ICLA LTDA.

M&A

DIRECTOR DEL PROYECTO

25-11-74
APROBADO INGENIERO FECHA

APROBADO CTM FECHA

PROYECTISTA DIBUJADO ESCALA

C 370-102
DIBUJO NUMERO REV.

S GENERALES PARA ARMADURA

aceros para armaduras deberán cumplir con las disposiciones enidas en el P.R.A.E.H. y en las normas IRAM 528 y 671, salvo ación en contrario

UBRIMIENTOS PARA ARMADURA

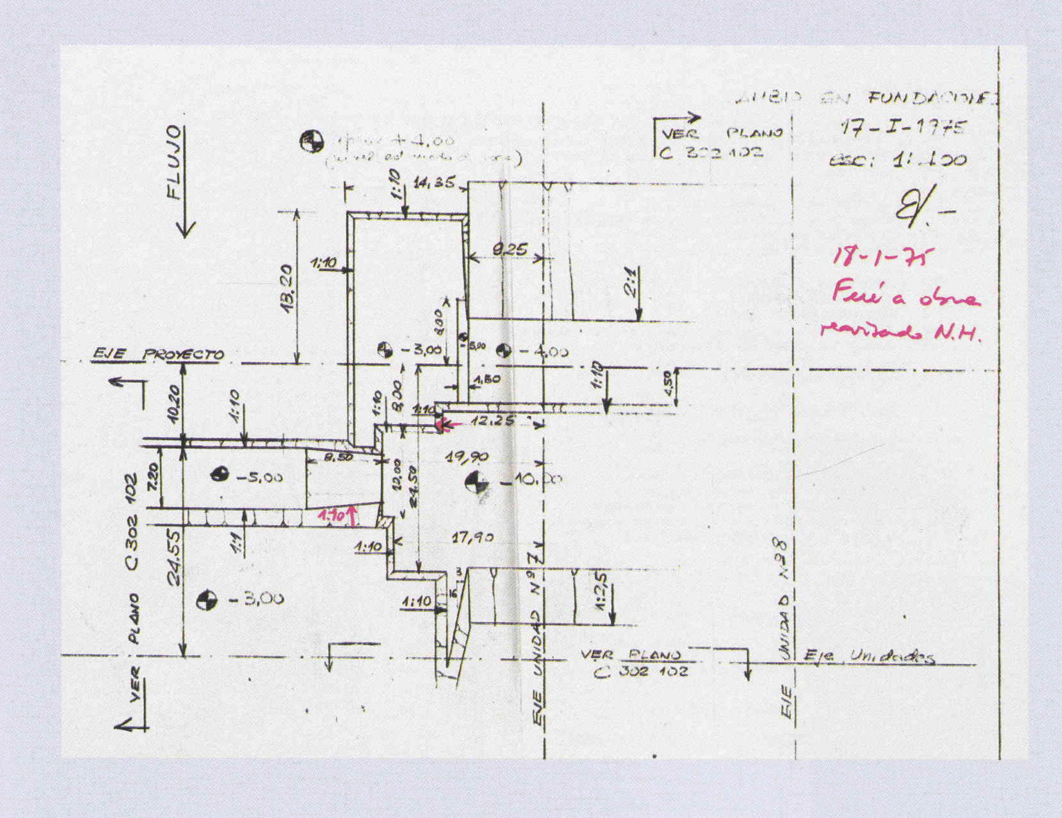
pto que se indique lo contrario en los planos, las armaduras tendrán uiente recubrimiento.

DE TRUCCION	CARAS INTERIORES EN SECO	CARAS EXTERIORES SOBRE COTA NORMAL DE AGUA O TERRENO	CARAS EXPUESTAS AL AGUA O TERRENO
, losas de techo y des delgadas (≤0.30 m)	0.025	0.04	0.05
s y losas pesadas	0.040	0.05	0.08
nnas y paredes das (≥0.30 m)	0.04	0.05	0.08
des secciones (>1.00 m.)	0.04	0.05	0.13

ITUDES DE ANCLAJES Y EMPALMES

	σbk = 170 kg/cm²		σbk = 210 kg/cm²		σbk = 300 kg/cm²		r
	l_{d_1} (m)	l_{d_2} (m)	l_{d_1} (m)	l_{d_2} (m)	l_{d_1} (m)	l_{d_2} (m)	
	0.45	0.60	0.40	0.50	0.30	0.35	3ϕ
	0.65	0.80	1.50	0.65	0.35	0.45	
20	0.80	1.00	0.65	0.80	0.45	0.55	
25	1.00	1.25	0.80	1.00	0.55	0.70	
32	1.25	1.60	1.00	1.30	0.70	0.90	4ϕ
40	1.60*	2.00*	1.30*	1.60*	0.90*	1.10*	5ϕ

NOTA: En los anclajes de la barras de ϕ ≤ 12 mm no se usarán ganchos.
(*) Los empalmes de barras ϕ40 deberán realizarse por soldadura


FLUJO
VER PLANO
17-I-1975
EJE PROYECTO
VER PLANO C 302 102
EJE UNIDAD Nº7
EJE UNIDAD Nº8
Eje Unidades
18-1-75

19

Las especificaciones técnicas

El documento llamado SG 01, de aproximadamente 200 páginas, describe en detalle cómo debía ejecutarse cada uno de los trabajos incluidos en el contrato de la obra civil, a cargo del consorcio contratista.

Su contenido era el marco de orientación para que la Dirección de Obra inspeccionara y exigiera su cumplimiento en la ejecución de las obras.

Se adjuntan algunas páginas de ese documento.

Secciones:

G-1 Tratamiento arquitectónico del edificio de comando
G-2 Terminación de pisos interiores en la central
G-3 Terminación de interiores en la central
G-4 Pintura

F-4 Juntas de estanqueidad
F-7 Puentes y otras estructuras prefabricadas de hormigón
F-8 Anclajes empotrados
F-9 Anclajes de tipo expansivo

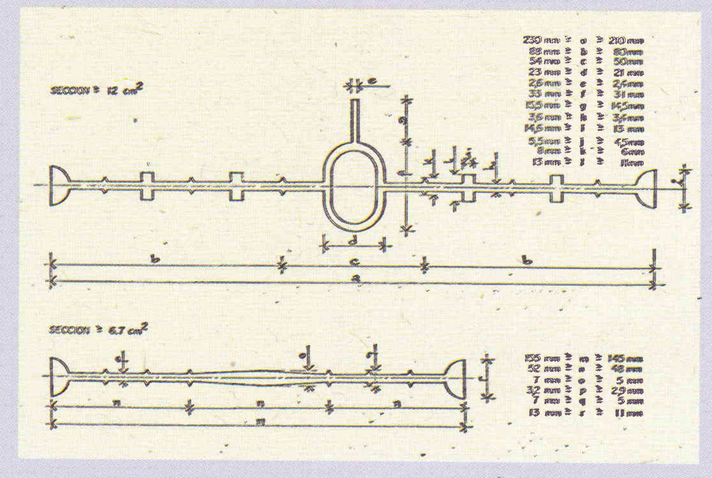
B-1 Limpieza y desbrozo
B-2 Excavación común
B-3 Excavación en roca
B-4 Tratamiento y refuerzo de las fundaciones
B-5 Zonas de prestamo y canteras

C Terraplenamiento

D Perforación e inyección

E Construcción de caminos

H-1 Servicios mecánicos
H-2 Cañerías y ductos empotrados
H-3 Iluminación y tomas de corriente
H-4 Cables de puesta y tierra empotrados
H-5 Ductos y conductos empotrados.



Detalle de la junta de estanqueidad

SECCION B-3

EXCAVACION EN ROCA

ET B Alcance del Trabajo

3.1 Los trabajos a ser efectuados de acuerdo con estas especificaciones comprenderán la provisión de toda la mano de obra, materiales y equipos y la ejecución de todos los trabajos necesarios para la excavación y el retiro de roca en las Obras Permanentes, tal como se indica en los Planos, como lo requiera el Ingeniero, y de acuerdo con estas especificaciones.

Definiciones

3.2. A los fines de estas especificaciones serán aplicables las siguientes definiciones:

a) Roca o Lecho de Roca

Se define como roca o lecho de roca la formación maciza de roca viva, dondequiera que se halle, que no pueda ser extraída mediante el método especificado para la excavación común.

El término "roca" o "lecho de roca" inc
las masas sueltas o bloques sólidos cuyo
superior a un metro cúbico.

b) Pre-fractura

Consiste en taladrar una hilera de barre
los con un sistema especial de cargas m
bajo poder explosivo, las cuales se colo
barrenos espaciados por medio de separa
dera u otro material. Estas cargas se h
antes que los barrenos del banco adyace
malidad de provocar un plano de fractura
tienda a todo lo largo de la barrenación.
mente a la tronada de la barrenación de
se hacen explotar los barrenos de banco
procedimiento se obtiene un afinado que
emergentes o sobrerroturas y posterior
o rellenos.

La técnica para quitar la roca adyacente
adecuada relación entre espaciamiento y
barrenos, separación frontal de las hile
de roca a volar.

SECCION B-4

TRATAMIENTO Y REFUERZO DE LAS FUNDACIONES

ET B Alcance del trabajo

4.1 Los trabajos a ser efectuados de acuerdo con estas especificaciones comprenderán la provisión de toda la mano de obra, materiales y equipos y la ejecución de todos los trabajos necesarios para el tratamiento y el refuerzo de las fundaciones en suelo y en roca para las estructuras permanentes, tal como se indica en los Planos, como lo requiere el Ingeniero, y de acuerdo con estas especificaciones. Dicho trabajo comprenderá:

a) la preparación de las superficies de las fundaciones en roca y en suelo para recibir las estructuras permanentes;

b) la instalación de anclajes para roca

c) la instalación de malla metálica

d) la colocación de hormigón aplicado neumáticamente (Gunita).

e) drenes de la fundación.

Preparación de las fundaciones. Generalidades

4.2 Todas las superficies de las fundaciones para estructuras permanentes de hormigón, de tierra o de piedra serán puestas en seco, retirándose los materiales sueltos, blandos o desechos y todo otro material perjudicial, a satisfacción del Ingeniero.

El Contratista deberá preparar las fundaciones para recibir terraplenes inmediatamente antes de colocar el material de relleno, el que se colocará según se especifica en la Sección C.

Preparación de las fundaciones para terraplenes impermeables y hormigón.

4.3 Las fundaciones en materiales comunes que deban recibir terraplenes impermeables deberán ser escarificadas y aflojadas mediante el uso de un arado, escarificador u otro método, hasta una profundidad no superior a los 0,30 m. Luego del retiro de todos los materiales inadecuados que hayan aparecido durante la escarificación toda el área de fundación

SECCION B-5

ZONAS DE PRESTAMO Y CANTERAS

ET B **Alcance**

5.1 El trabajo a realizar bajo estas especificaciones consistirá en todas las tareas, materiales, plantas y ejecución de todo lo necesario para una conveniente explotación de la zona de préstamo y canteras, para proveer los materiales necesarios para el trabajo permanente, como muestran los planos, y requeridos por el Ingeniero y estas especificaciones.

Definiciones

5.2. Para los propósitos de estas especificaciones se usarán las siguientes definiciones:

a) Designación de las zonas de préstamo y canteras.

- Salto Grande
- Paso del Terrible
- Cañada del Sauce
- Arroyo Ayuí-Zona 1 y Zona 2.

b) Alternativa como zonas de préstamo y canteras

Se tomarán como alternati
de préstamo y canteras, q
en B 5.2a) y cuya ubicació
rá durante el progreso de

Areas designadas de préstamos y canteras

5.3 La información para los oferentes, muest
signadas de préstamos y canteras para obt
les requeridos en los trabajos permanente
se usarán en la determinación de los preci
los materiales a ser incorporados en los t
nentes. Los cortes geológicos de las zona
cantera, y las curvas de graduación de los
rá sólo para la información de los contrati
tistas harán su propia evaluación y modo d
los materiales aptos para los diversos uso
las especificaciones referidas a materiale
a las obras en forma permanente.

Se aclara al Contratista, el hecho de que l

TERRAPLENAMIENTO

ET **Alcance del trabajo**

C.1 Los trabajos a realizar de acuerdo con estas especificaciones comprenderán el suministro de toda la mano de obra, materiales y equipos, y la ejecución de todos los trabajos necesarios para la excavación, selección, manipulación, procesamiento, carga, acarreo, descarga, esparcimiento y compactación de materiales para relleno, tal como se indica en los Planos, según lo requiera el Ingeniero y conforme a estas especificaciones. El Trabajo deberá incluir el material de relleno compactado con equipo pesado y el relleno de zanjas y detrás de muros compactado con equipos livianos.

Los trabajos también incluirán la excavación de trincheras y su relleno con suelo y bentonita y la instalación de pozos de drenaje permanentes, así como el suministro de instrumentos, según se indica en los Planos, como lo requiera el Ingeniero y conforme a estas especificaciones.

Generalidades

C.2 En general, el trabajo abarca la construcción de diques laterales que forman parte de la estructura para retención del agua. Los diques se construirán con tierra compactada y escollerado, tal como se indica en los Planos.

El material para los terraplenes y escollerado de los diques podrá obtenerse de las excavaciones realizadas de acuerdo con las Secciones B-2 y B-3, de las zonas de préstamo indicadas en los Planos, o de otras fuentes aprobadas por el Ingeniero.

El material de relleno no deberá contener malezas, raíces, césped ni cualesquiera otros materiales orgánicos o impropios.

Los materiales destinados a las distintas zonas de los terraplenes y escollerados deberán ser manipulados, colocados, esparcidos y compactados de modo tal que se eviten segregaciones y se obtenga una estructura compactada homogénea, sujeta a un mínimo de asentamiento.

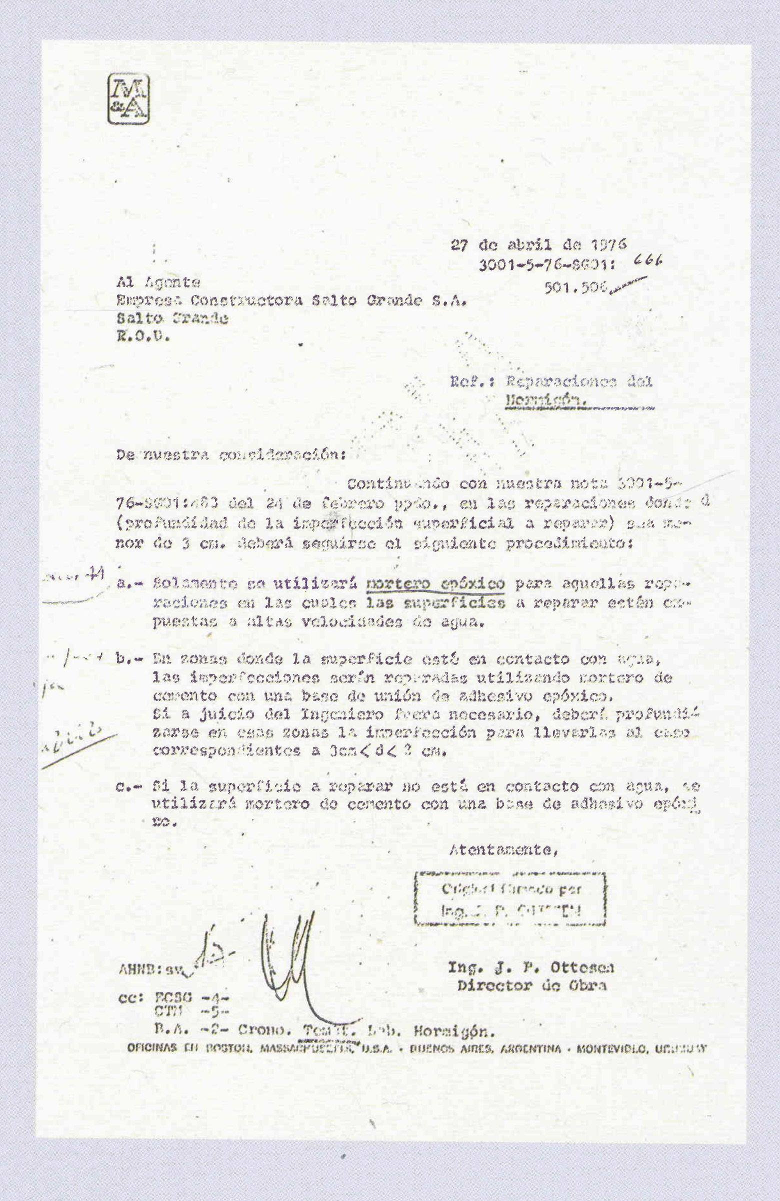
Para facilitar la construcción de los diques se permitirá, con sujeción a la aprobación del Ingeniero, un número limi-

20

Los instructivos de obra

En general, los instructivos de obra eran complementos informativos relacionados con algún detalle operativo que era necesario aclarar. Provenían del director de obra, ingeniero J P Ottesen.

En la imagen adjunta se muestra un ejemplo.



M&A

27 de abril de 1976
3001-5-76-SG01: 666
501.506

Al Agente
Empresa Constructora Salto Grande S.A.
Salto Grande
R.O.U.

Ref.: Reparaciones del Hormigón.

De nuestra consideración:

Continuando con nuestra nota 3001-5-76-SG01:483 del 24 de febrero ppdo., en las reparaciones donde d (profundidad de la imperfección superficial a reparar) sea menor de 3 cm. deberá seguirse el siguiente procedimiento:

a.- Solamente se utilizará mortero epóxico para aquellas reparaciones en las cuales las superficies a reparar estén expuestas a altas velocidades de agua.

b.- En zonas donde la superficie esté en contacto con agua, las imperfecciones serán reparadas utilizando mortero de cemento con una base de unión de adhesivo epóxico.
Si a juicio del Ingeniero fuera necesario, deberá profundizarse en esas zonas la imperfección para llevarlas al caso correspondientes a 3cm< d< [illegible] cm.

c.- Si la superficie a reparar no está en contacto con agua, se utilizará mortero de cemento con una base de adhesivo epóxico.

Atentamente,

Original firmado por
Ing. J. P. [illegible]

Ing. J. P. Ottesen
Director de Obra

AHNB:sv

cc: ECSG -4-
CTM -5-
B.A. -2- Crono. Tec. Lab. Hormigón.

OFICINAS EN BOSTON, MASSACHUSETTS, U.S.A. · BUENOS AIRES, ARGENTINA · MONTEVIDEO, URUGUAY

IV SEGUNDA ETAPA DE DESVÍO DEL RÍO

Se aprecian los dispositivos mecánicos incorporados a la obra civil para controlar el flujo del río y el equipamiento de generación de energía en proceso de instalación.

21

Compuertas y mecanismos de control del flujo del río

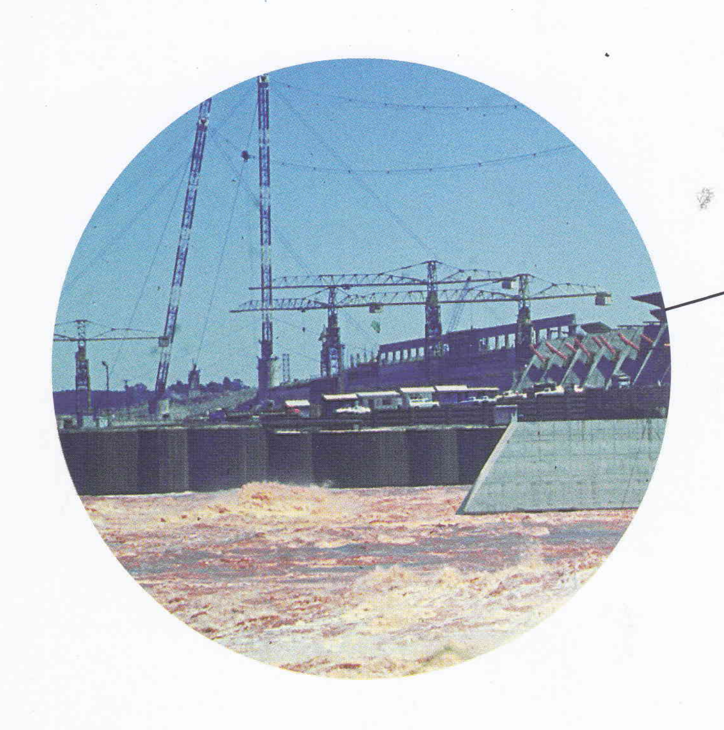
La primera imagen permite apreciar cómo el río pasa por los vertederos ya habilitados, mientras se continúa instalando las turbinas y completando la generación en la central uruguaya, debido a que las compuertas planas colocadas cierran el paso del agua por las turbinas.

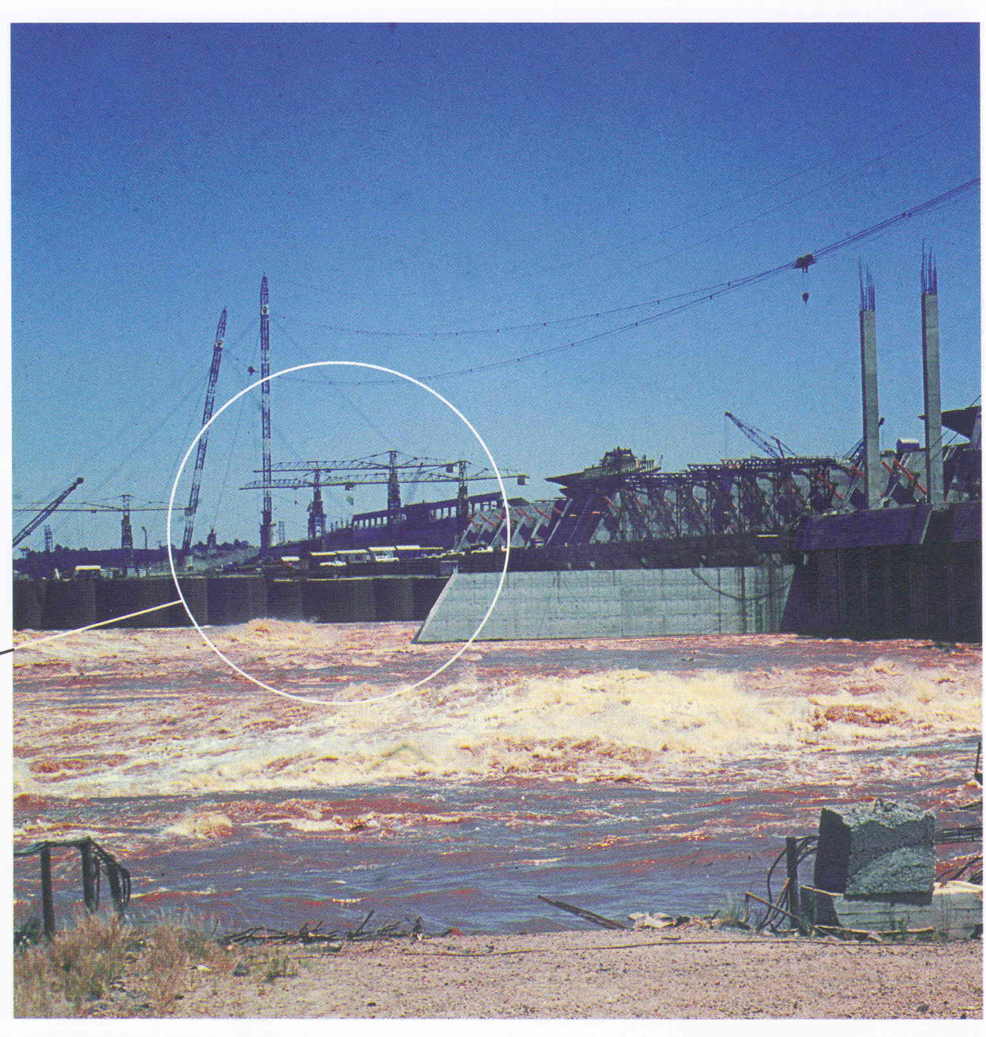
A la izquierda de la imagen se ven las obras del lado argentino, en el recinto estanco de la ataguía, limitado por la misma tabla estacada de la primera etapa, y dos escolleras desde la margen derecha del río, paralelas al eje de proyecto, aguas arriba y aguas abajo.

La segunda imagen da una visión panorámica del lado uruguayo, desde aguas abajo.

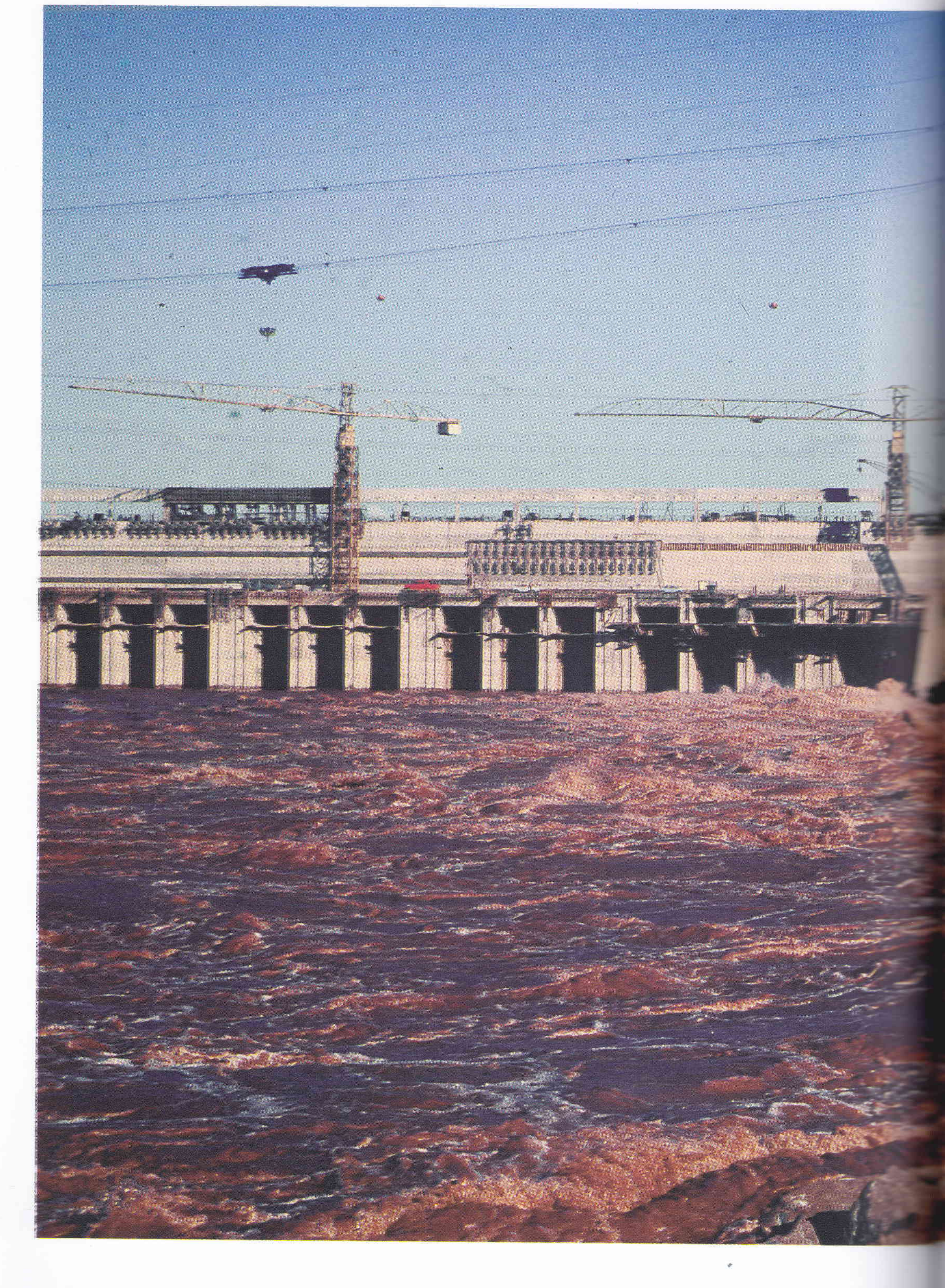
En la siguiente se aprecia el agua pasando por el vertedero.

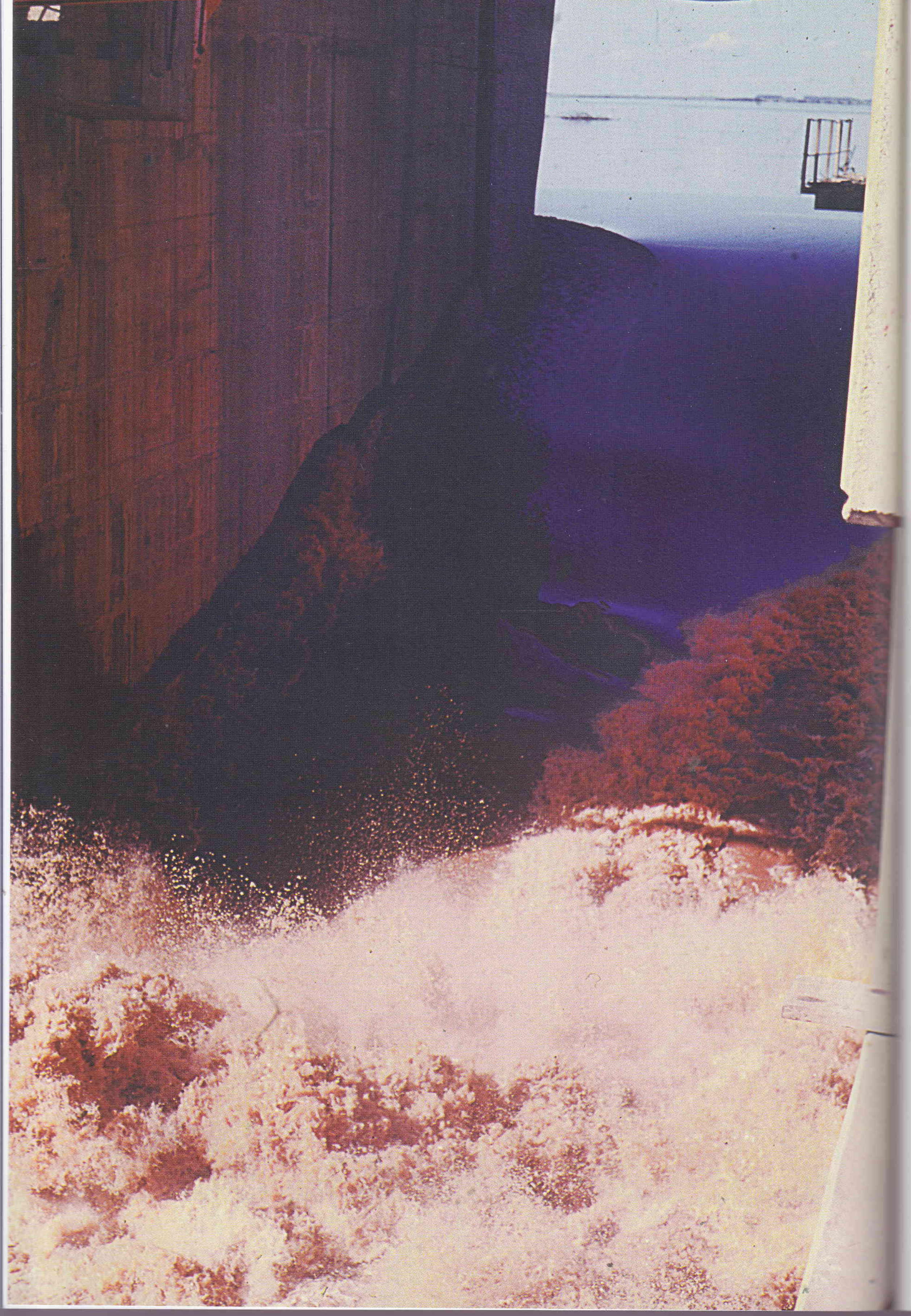
Por último, una vista del material flotante retenido gracias al accionar de las rejas, con el fin de evitar su paso por las turbinas.





Obras del lado argentino.







Material flotante detenido por las rejas.

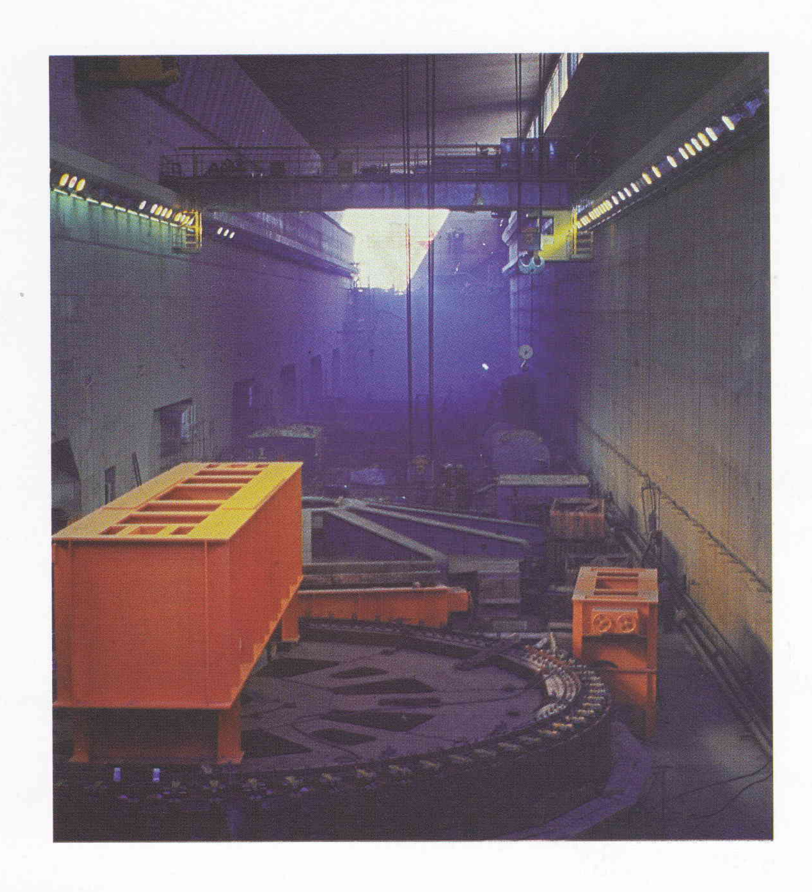
22

Generación, transformación y redes de distribución

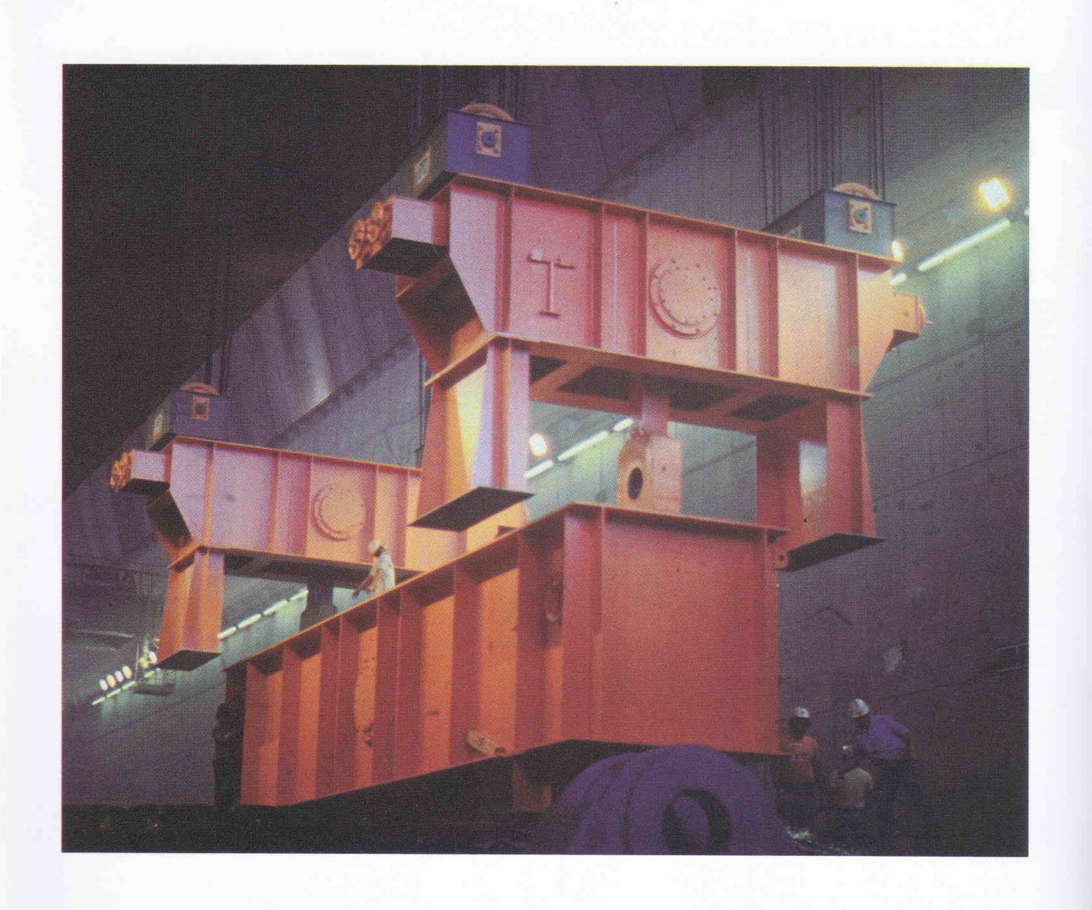
Las primeras tres imágenes muestran la sala de máquinas del lado uruguayo, en el momento en que un generador es acoplado a la turbina mediante la acción del puente grúa.

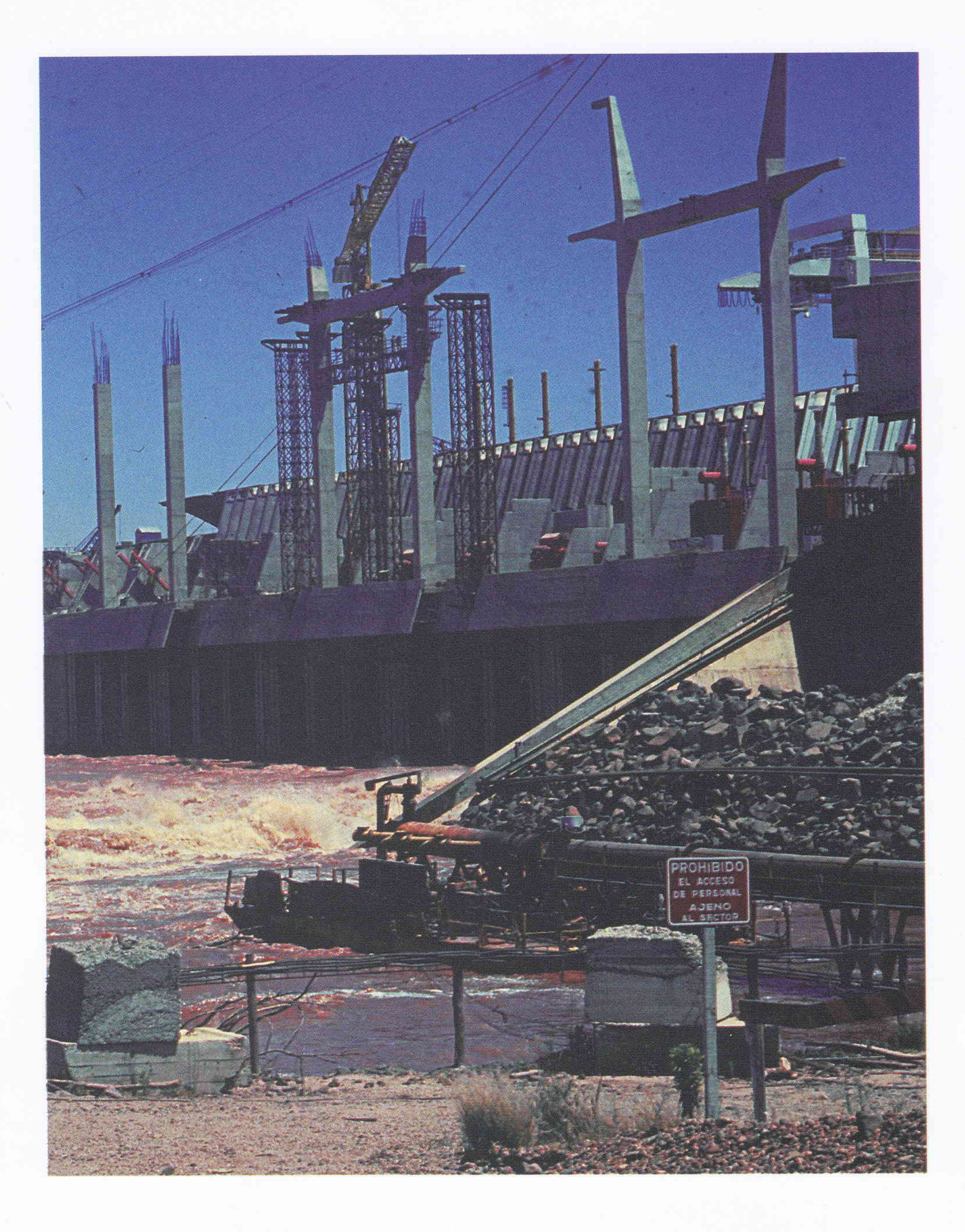
La cuarta imagen muestra las torres desde donde saldrán los cables que transportarán la energía generada.

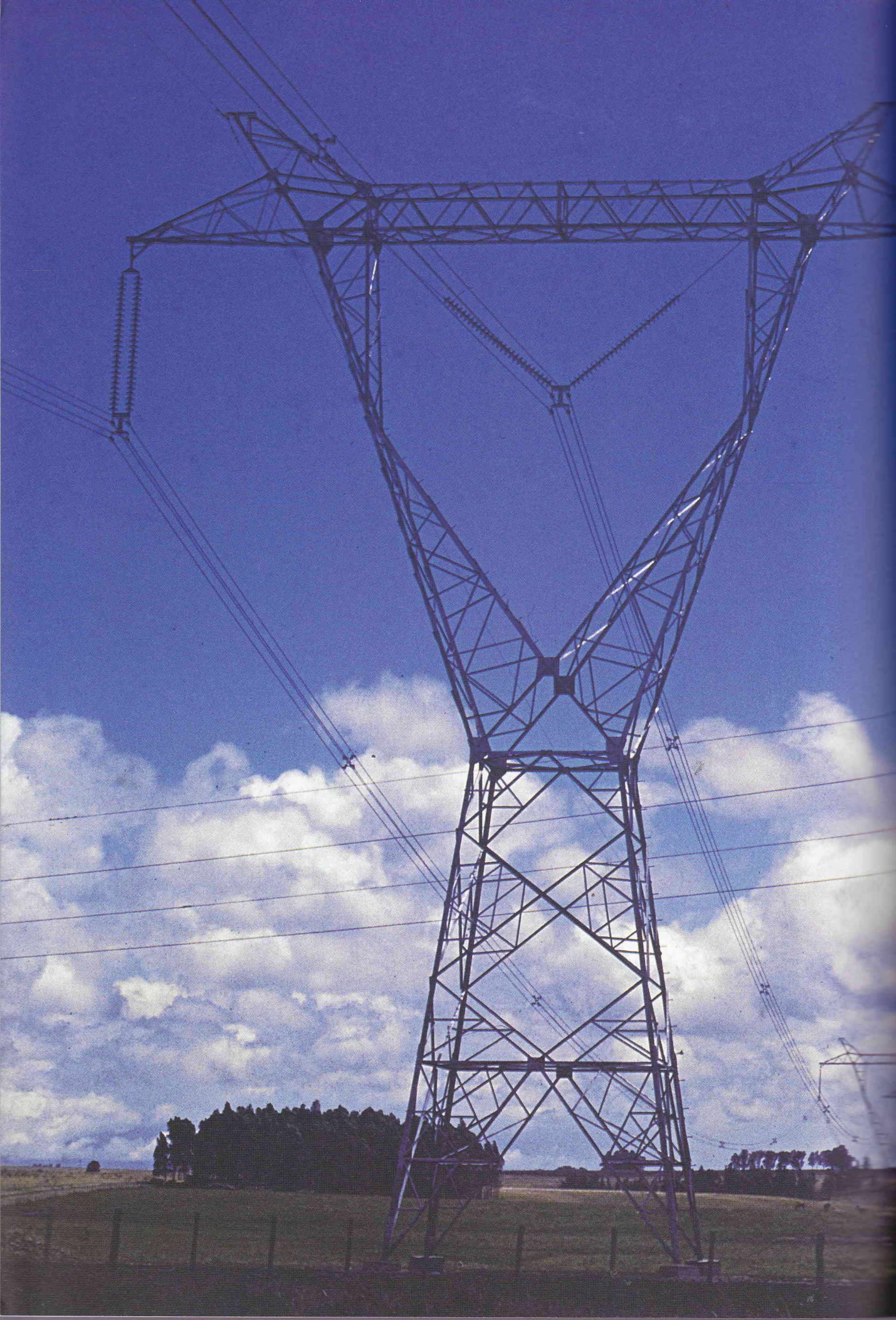
En la siguiente imagen se ve un tramo de la red de distribución, con sus torres metálicas sosteniendo los cables que transportan la energía.

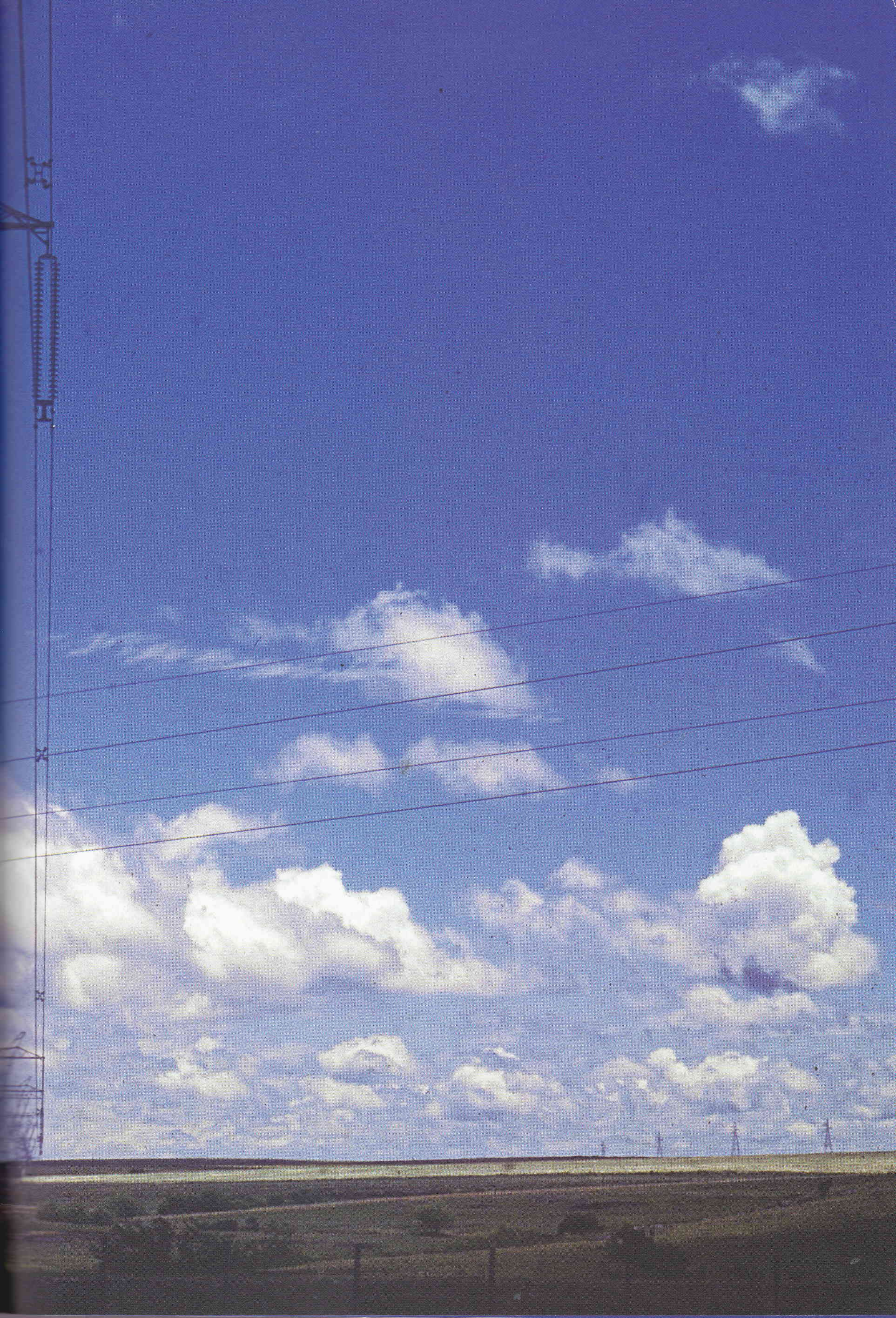







PROHIBIDO
EL ACCESO
DE PERSONAL
AJENO
AL SECTOR







ANEXOS

El siguiente material aporta información sobre los procesos de elaboración del proyecto y de construcción de la obra, al tiempo que documenta sobre la escala y la importancia del Complejo Hidroeléctrico de Salto Grande en relación a emprendimientos similares en el resto del mundo.

A.

Las partes intervinientes y sus sedes

El comitente, es decir, quien representaba el ejercicio de la propiedad de la obra a proyectar y construirse, fue la Comisión Técnica Mixta de Salto Grande (CTM), que por tratarse de una obra binacional estaba integrada por autoridades de ambos países.

Por más detalles, véase www.saltogrande.org

El consorcio constructor estuvo integrado por varias empresas, alguna de ellas con reconocida experiencia en obras similares.

El consorcio consultor, que tuvo a su cargo el proyecto ejecutivo y la dirección de las obras, fue Main & Asociados, cuyas firmas integrantes eran:

Chast T Main Inc, Boston, Estados Unidos
IATASA (Ingeniería y Asistencia Técnica Argentina)
INCONAS (ingenieros consultores de Argentina)
ICLA* (ingenieros consultores de Uruguay)

Las sedes donde se elaboraron los proyectos ejecutivos estuvieron ubicadas en Buenos Aires (la casi totalidad del proyecto) y Montevideo (redes de trasmisión y subestaciones, sector Uruguay).

En Salto, dentro del obrador, se ubicaron las oficinas del consorcio consultor y de la CTM, que compartieron la supervisión y el seguimiento de las obras a cargo del consorcio constructor.

*ICLA (Ingenieros Consultores Latinoamericanos) estaba integrada por cinco ingenieros uruguayos de destacada trayectoria profesional: Carlos Joos, Ulises Anaya, Franco Vázquez Praderi, Antonio de Anda y Eladio Dieste.

B.

El equipo del proyecto estructural y sus tareas iniciales

Supervisado por el ingeniero Nik Hernández (Main) como director de las obras civiles, el equipo estructural estuvo liderado por el ingeniero Jaime Lande (IATASA). Sus integrantes, en el período comprendido entre enero de 1974 y mayo de 1975, fueron los ingenieros Noemí Sujov, Carlos Verdi, Enrique Matheu, Eduardo Liaudat (IATASA) y Edgardo Verzi (ICLA). La primera tarea consistió en redactar los criterios de diseño para cada uno de los elementos estructurales.

El paso siguiente consistió en diseñar el plano de fundaciones con sus cotas y transiciones entre diferentes niveles, a fin de permitir las excavaciones en obra, para recibir la estructura de hormigón armado a construir.

El diseño arquitectónico estuvo a cargo del estudio argentino Mario Roberto Álvarez y Asociados.

C.

Escala relativa e importancia de la obra

A nivel mundial

Considerando la importancia de la obra en cuanto a su capacidad de generación de energía, el Complejo Hidroeléctrico de Salto Grande, con sus 1.890 MW, ocupaba al momento de iniciarse las obras (1974) el lugar número 11 entre las represas del mundo.

Años más tarde, cuando finalizan sus obras y genera el máximo de su capacidad (1982), ocupaba el lugar 24 a nivel mundial.

En 2012 tenía el lugar número 67 entre las 257 represas existentes de más de 1.000 MW de capacidad de generación (ver Wikipedia, Anexo: centrales hidroeléctricas del mundo).

Las centrales hidroeléctricas de Uruguay, ubicadas en el Río Negro y administradas por UTE, tienen las siguientes capacidades de generación, a comparar con Salto Grande, de 1.890 MW:

Dr Gabriel Terra: 152 MW
Rincón de Baygorria: 108 MW
Constitución: 333 MW

Importancia regional

El Complejo Hidroeléctrico de Salto Grande fue el primer emprendimiento binacional en América Latina (1974).

Pocos años después le siguieron Itaipú (entre Brasil y Paraguay) en el río Paraná, que es la segunda represa en capacidad de generación a nivel mundial, con sus 14.000 MW, y Yacyretá (entre Argentina y Paraguay) en el río Paraná, que ocupa el lugar 16 a nivel mundial en capacidad de generación, con 4.050 MW.

Tamaño relativo de la estructura de hormigón armado de la represa de Salto Grande:

Se colocaron 1.500.000 metros cúbicos de hormigón, el equivalente a mil kilómetros de una carretera con pavimento de hormigón cuya sección tuviera 0,20 metros de espesor y un ancho de 7,50 metros, o sea de una sección de 1,50 metros cuadrados.

Algunas referencias históricas claves y datos complementarios

www.saltogrande.org/historia.php
www.saltogrande.org
Wikipedia, Anexo: centrales hidroeléctricas del mundo
Juan Grompone, "Eladio Dieste, maestro de la ingeniería", Internet

Al ingeniero Eladio Dieste

En su carácter de socio director de la consultora ICLA, Dieste tuvo las responsabilidades contractuales, compartidas con sus cuatro socios, tanto con las consultoras asociadas del consorcio Main & Asociados, como con las contraídas ante el comitente, la CTM.

Siendo el único ingeniero civil de ICLA, debió asumir la máxima responsabilidad profesional en todas las decisiones relativas al proyecto y a la construcción de la obra civil.

Su presencia era frecuente en las oficinas de proyecto en Buenos Aires, así como sus visitas a la obra, en Salto Grande, en las que aportó su acertada visión en cada consulta, con el sólido fundamento teórico en que respaldaba su opinión.

Entre sus aportes a grandes problemas de ingeniería, pueden citarse en este proyecto el cojinete de empuje de la turbina número 1 y el pontón de guía de la esclusa, como documenta el ingeniero Juan Grompone en "Eladio Dieste, maestro de la ingeniería".

Mi participación en el equipo del consorcio Main & Asociados, que tuvo a su cargo el proyecto ejecutivo y la dirección de las obras del Complejo Hidroeléctrico de Salto Grande, respondió a la decisiva invitación de Dieste.

Inmerso en el proceso de proyecto y dirección de una gran obra de nivel internacional, tuve acceso a los recientes avances de la época en el análisis estructural, así como a las técnicas vigentes de los procedimientos de construcción, que aportaron invalorable experiencia en mi futuro profesional.

Expreso aquí mi enorme agradecimiento al Maestro Eladio Dieste por la distinción otorgada al darme la oportunidad singular de participar en uno de los emprendimientos hidroeléctricos más importantes del mundo en aquel momento.

Este libro relata mi experiencia profesional en el proyecto ejecutivo y en la dirección de las obras civiles del Complejo Hidroeléctrico de Salto Grande en el período comprendido entre enero de 1974 y enero de 1977, contratado por la consultora uruguaya ICLA, integrante del consorcio consultor Main&Asociados.

Con decenas de imágenes inéditas del proceso de la obra, obtenidas en dicho período constructivo, y con el apoyo de documentación técnica que dispongo en mis archivos, considero de interés compartir esta singular experiencia, que describe el comienzo de una de las obras más importantes realizadas en nuestro país.

Edgardo Verzi


ISBN: 978-9974-94-437-4
9 789974 944374